

宅地地盤の液状化対策における地盤特性と空気注入  
法の効果の関係に関する検討

報 告 書

平成 22 年 3 月

国土交通省国土技術政策総合研究所 都市研究部

(実施機関：財団法人 ベターリビング)

# 本文目次

1. 実験目的	1
2. 実験方法	
2.1 大型動的遠心力載荷実験装置	1
2.2 試験体	4
2.2.1 実験パラメータ	4
2.2.2 地盤材料	6
2.2.3 地盤作製方法および計測器	6
(1) 地盤作製方法および計測器の設置	6
(2) 地盤の飽和方法	8
(3) 住宅模型	12
2.3 飽和度測定方法	13
2.3.1 初期飽和度測定方法	13
2.3.2 加振に至るまでの飽和度測定方法	13
2.4 加振方法	16
2.5 測定項目とデータの収録	19
2.6 室内土質試験方法	25
3. 実験結果	
3.1 地盤の密度管理結果	31
3.2 飽和度測定結果	34
3.2.1 初期飽和度測定結果	34
3.2.2 加振に至るまでの地盤飽和度測定結果	34
3.3 加振結果	47
3.3.1 地盤及び住宅模型の変位量特性	47
3.3.2 過剰間隙水圧特性	57
3.3.3 応答加速度特性	80
3.3.4 地盤のS波速度測定結果	96
3.4 室内土質試験	
3.4.1 物理・安定化試験	99
3.4.2 せん断試験	101
4. まとめ	110

### 3. 実験結果

実験結果の整理は遠心重力場(50G)で測定したデータを、実物大換算して行う事とする。  
すなわち、変位は 50 倍、加速度は 1/50 倍、圧力は 1 倍となる。

#### 3.1 地盤の密度管理結果

各ケースの地盤作製時における支持層及び液状化層の密度管理結果を表 3.1-1 に示す。しかし、地盤に遠心力 50G を与えると沈下が生じる。この沈下量を考慮して地盤密度を算定した結果を表 3.1-2 に示す。表 3.1-2 は加振直前の地盤密度である。これらの表で用いた計算式は次の通りである。

締固め度 D 値 
$$D = \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}}$$
  
dmax : 締固め試験から得られる最大乾燥密度  
d : 求める砂の乾燥密度

隙比比 e 
$$e = \frac{\rho_s \cdot \rho_w}{\rho_d} - 1$$
  
s : 土粒子の密度、 w : 水の密度

和単位体積重量 
$$\gamma_{sat} = \frac{g \cdot (\rho_s \cdot \rho_w + e \cdot \rho_w)}{(1 + e)}$$
  
w : 水の密度、 g : 重力加速度

中単位体積重量 
$$\gamma' = g \cdot (\rho_{sat} - \rho_w)$$

表 3.1.1-1 地盤の密度管理結果一覧(地盤作製時)

CASE	地盤種別	地盤材料	地盤厚さ (cm)	水分計 体積 (cm <sup>3</sup> )	作成地盤 の体積 (cm <sup>3</sup> )	含水比 w <sub>o</sub> (%)	砂の乾燥質量		湿潤密度 ρ <sub>w</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 ρ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	土粒子体積 V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )	相対密度 Dr (%)	締固め度 D <sub>r</sub> 値 (%)	間隙比 e	飽和単位 体積質量 γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	水中単位 体積質量 γ <sub>sub</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
							地盤 (kg)	メッシュ (kg)								
0-1 (試験用)	支持層	7号珪砂	10.0	0.0	22319.6	0.0	35.56	0.00	-	1.593	13399	99.4	-	0.67	19.544	9.737
	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	30.0	196.8	66762.1	15.1	109.75	0.31	1.644	1.433	34999	-	87.7	0.91	18.721	8.914
0-2 (試験用)	支持層	7号珪砂	10.0	0.0	22379.9	0.0	35.66	0.00	-	1.593	13043	99.4	-	0.67	19.545	9.738
	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	30.0	196.8	66943.0	15.1	114.95	0.31	1.717	1.497	36652	-	91.6	0.83	19.117	9.310
1	支持層	7号珪砂	10.0	0.0	45242.5	0.0	71.78	0.00	-	1.586	26253	97.9	-	0.67	19.502	9.696
	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	30.0	536.0	135191.4	15.1	233.33	0.64	1.726	1.505	74401	-	92.0	0.82	19.165	9.358
2	支持層	7号珪砂	10.0	0.0	45242.5	0.0	71.90	0.00	-	1.589	26298	98.5	-	0.67	19.519	9.713
	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	30.0	536.0	135191.4	14.7	228.16	0.63	1.688	1.476	72988	-	90.3	0.85	18.987	9.181
2'	支持層	7号珪砂	10.0	0.0	45242.5	0.0	71.67	0.00	-	1.584	26214	97.4	-	0.68	19.488	9.682
	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	30.0	536.0	135191.4	15.1	232.95	0.65	1.723	1.502	74284	-	91.9	0.82	19.150	9.344
3	支持層	7号珪砂	10.0	0.0	45242.5	0.0	71.89	0.00	-	1.589	26295	98.5	-	0.67	19.518	9.711
	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	30.0	536.0	135191.4	15.1	233.16	0.64	1.725	1.504	74347	-	92.0	0.82	19.158	9.352
4-1	支持層	7号珪砂	10.0	0.0	22319.6	0.0	35.52	0.00	-	1.591	12992	99.0	-	0.67	19.533	9.726
	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	30.0	0.0	66958.9	15.1	115.59	0.32	1.726	1.505	36859	-	92.0	0.82	19.167	9.361
4-2	支持層	7号珪砂	10.0	0.0	22379.9	0.0	35.63	0.00	-	1.592	13032	99.1	-	0.67	19.537	9.730
	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	30.0	393.6	66746.2	15.1	115.25	0.32	1.727	1.505	36749	-	92.1	0.82	19.169	9.362

7号珪砂の物性  
 ・土粒子の密度試験  
 ρ<sub>s</sub> 2.654 (g/cm<sup>3</sup>)  
 ・最大・最小密度試験  
 ρ<sub>max</sub> 1.596 (g/cm<sup>3</sup>) ρ<sub>min</sub> 1 (g/cm<sup>3</sup>)

江戸崎砂の物性  
 ・土粒子の密度試験  
 ρ<sub>s</sub> 2.734 (g/cm<sup>3</sup>)  
 ・締め試験  
 ρ<sub>max</sub> 1.635 (g/cm<sup>3</sup>)  
 ・幅 150 (cm) ・高さ 50 (cm) ・奥行き 30.162 (cm)  
 ・幅 50 (cm) ・高さ 17 (cm) ・奥行き 17 (cm)

実験土槽の仕様  
 速心加速度  
 50 (G)  
 ・幅 19.9 (cm) ・高さ 1.3 (cm) ・奥行き 29.5 (cm)  
 ・幅 19.9 (cm) ・高さ 3.9 (cm) ・奥行き 29.5 (cm)

模型の単位体積質量  
 CASE0-3  
 ・質量 1754.7 (g) ・密度 2.299 (g/cm<sup>3</sup>)  
 CASE4  
 ・質量 4510.0 (g) ・密度 1.983 (g/cm<sup>3</sup>)

表 3.1-2 地盤の密度管理結果一覧(加振直前)

7号硅砂の物性	$\rho_s$	2.654 (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dmax}$	1.596 (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dmin}$	1.242 (g/cm <sup>3</sup> )
・土粒子の密度試験	・最大・最小密度試験					
江戸崎砂の物性	$\rho_s$	2.734 (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dmax}$	1.635 (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dopt}$	1.69 (%)
・土粒子の密度試験	・締めめ試験					
実験土槽の仕様	・幅	150 (cm)	・高さ	50 (cm)	・興行き	30.162 (cm)
連心加速度	50 (G)					
標型の単位体積重量	・幅	19.9 (cm)	・高さ	1.3 (cm)	・興行き	29.5 (cm)
					・質量	1754.7 (g)
					・密度	2.299 (g/cm <sup>3</sup> )

CASE	地盤種別	地盤材料	加振直前の 沈下量 (mm)	地盤厚さ (cm)	水分計 体積 (cm <sup>3</sup> )	作成地盤 の体積 (cm <sup>3</sup> )	含水比 $w$ (%)	砂の乾燥質量		湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	土粒子体積 $V_s$ (cm <sup>3</sup> )	締めめ度 D値 (%)	間隙比 $e$	飽和単位	水中単位
								地盤 (kg)	メッシュ (kg)						体積重量 $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
0-1 (試加振)	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	2.45	29.76	196.8	66215.2	15.1	109.75	0.31	1.657	1.445	34999	88.4	0.89	18.795	8.988
0-2 (試加振)	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	1.00	29.90	196.8	66719.2	15.1	114.95	0.31	1.723	1.502	36652	91.9	0.82	19.148	9.341
1	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	1.16	29.88	536.0	134666.6	15.1	233.33	0.64	1.733	1.510	74401	92.4	0.81	19.201	9.395
2	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	2.82	29.72	536.0	133915.6	14.7	228.16	0.63	1.704	1.490	72988	91.1	0.83	19.075	9.268
2'	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	2.11	29.79	536.0	134236.8	15.1	232.95	0.65	1.735	1.513	74265	92.5	0.81	19.214	9.408
3	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	1.95	29.81	536.0	134309.2	15.1	233.16	0.64	1.736	1.513	74328	92.5	0.81	19.217	9.411
4-1	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	1.10	29.89	0.0	66713.3	15.1	115.59	0.32	1.733	1.511	36859	92.4	0.81	19.202	9.395
4-2	非液化化層 液化化層	江戸崎砂	1.11	29.89	393.6	66497.8	15.1	115.25	0.32	1.733	1.511	36749	92.4	0.81	19.204	9.397

### 3.2 飽和度測定結果

地盤飽和度測定結果一覧を表 4.1-3 に示す。

#### 3.2.1 初期飽和度測定

重力場において地盤飽和度の測定は CASE2 以降から行った。圧力、水面変位、飽和度の推移状況を図 4.1-1(a) ~ (d) に示す。

#### 3.2.2 加振に至るまでの地盤飽和度推移

各ケースの重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの飽和度推移を図 4.1-2(a) ~ (h) に示す。これらの図の飽和度データは、土壌水分計 CS-616 の測定結果である。

表 4.1-3 地盤飽和度測定結果一覧

試験ケース	間隙流体	液化化層の飽和状況	初期飽和度 Sr (%)	締固め度 D値 (%)	土壌水分計 (CS-616)	Period (μsec)	飽和度 Sr (%)	平均飽和度 Sr (%)					
CASE0-1	水道水	不飽和	-	87.7	CS-1	32.18	92.7	93.0					
					CS-2	32.27	93.3						
CASE0-2	水道水	不飽和	-	91.6	CS-3	31.47	90.4	91.7					
					CS-4	31.84	93.0						
CASE1	水道水	飽和	-	92.0	CS-1	32.97	100.0	100.0					
					CS-2	32.98	100.0						
					CS-3	32.97	100.0						
					CS-4	33.00	100.0						
CASE2	水道水	不飽和	99.9	90.3	CS-1	31.30	89.2	92.1					
					CS-2	31.60	91.3						
					CS-3	31.87	93.2						
					CS-4	32.08	94.7						
CASE2'	水道水	不飽和	99.9	91.9	CS-1	31.83	92.9	94.0					
					CS-2	31.83	92.9						
					CS-3	32.05	94.5						
					CS-4	32.24	95.8						
CASE3	水道水	二層構造の部分不飽和	99.7	92.0	CS-1	31.21	88.6	89.8					
					CS-2	31.56	91.0						
					CASE3 STEP3	マイクロバブル水	不飽和	92.0	92.0	CS-3	32.58	98.2	99.0
										CS-4	32.80	99.8	
CASE4-1	水道水	飽和	99.7	92.0	CS-1	30.11	81.0	85.6					
					CS-2	30.48	83.5						
CASE4-2 STEP1	水道水	二層構造の部分不飽和	99.7	92.1	CS-3	31.10	87.8		91.5				
					CS-4	31.41	90.0						
					CASE4-2 STEP2	マイクロバブル水	-	-	-	CS-1	31.57	91.1	99.6
										CS-2	31.70	92.0	
CASE4-2 STEP2	マイクロバブル水	-	-	-	CS-3	32.76	99.5	87.4					
					CS-4	32.77	99.6						
					CASE4-2 STEP2	マイクロバブル水	-	-	-	CS-1	30.88	86.3	92.6
										CS-2	31.20	88.5	
CASE4-2 STEP2	マイクロバブル水	-	-	-	CS-3	31.67	91.8	92.6					
					CS-4	31.90	93.4						

< 検定結果による飽和度Sr算定式 >

$$D=88\% \quad Sr=-86.10846+4.67569X+0.02737X^2$$

$$D=92\% \quad Sr=-52.35731+2.06653X+0.07845X^2 \quad x: \text{period}$$

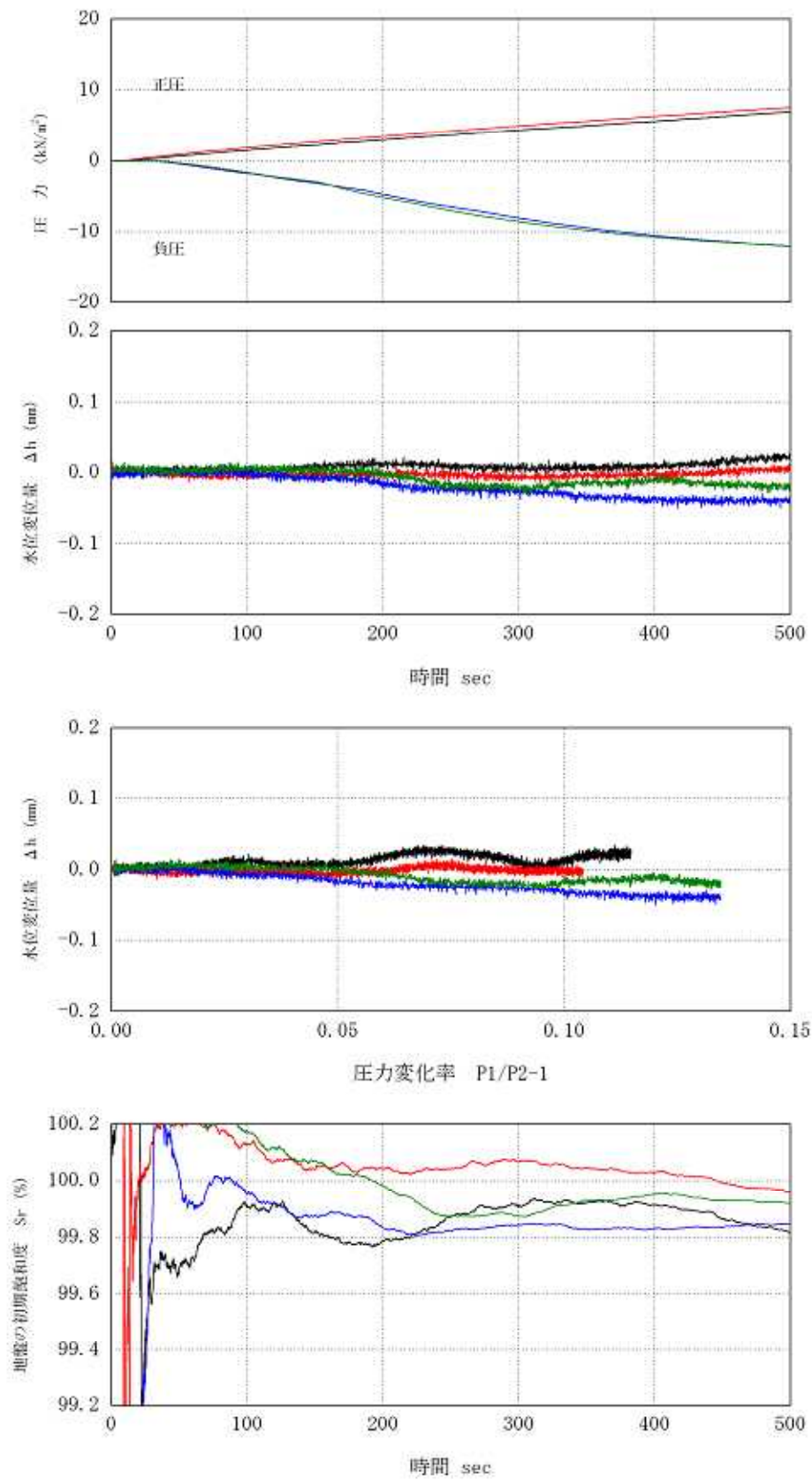


図 4.1-1(a) 圧力、水面変位、飽和度の推移状況(CASE2)

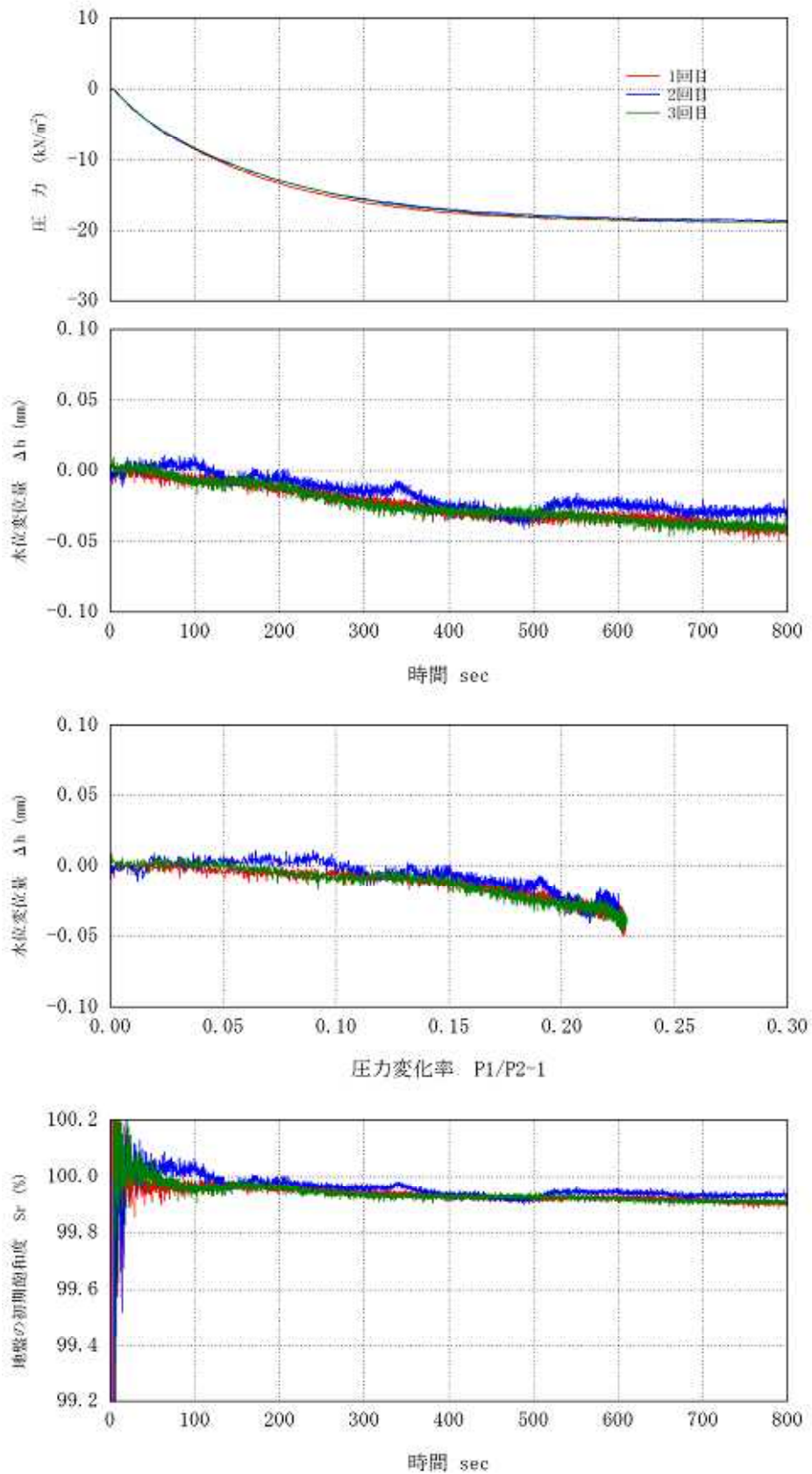


図 4.1-1(b) 圧力、水面変位、飽和度の推移状況(CASE2 )



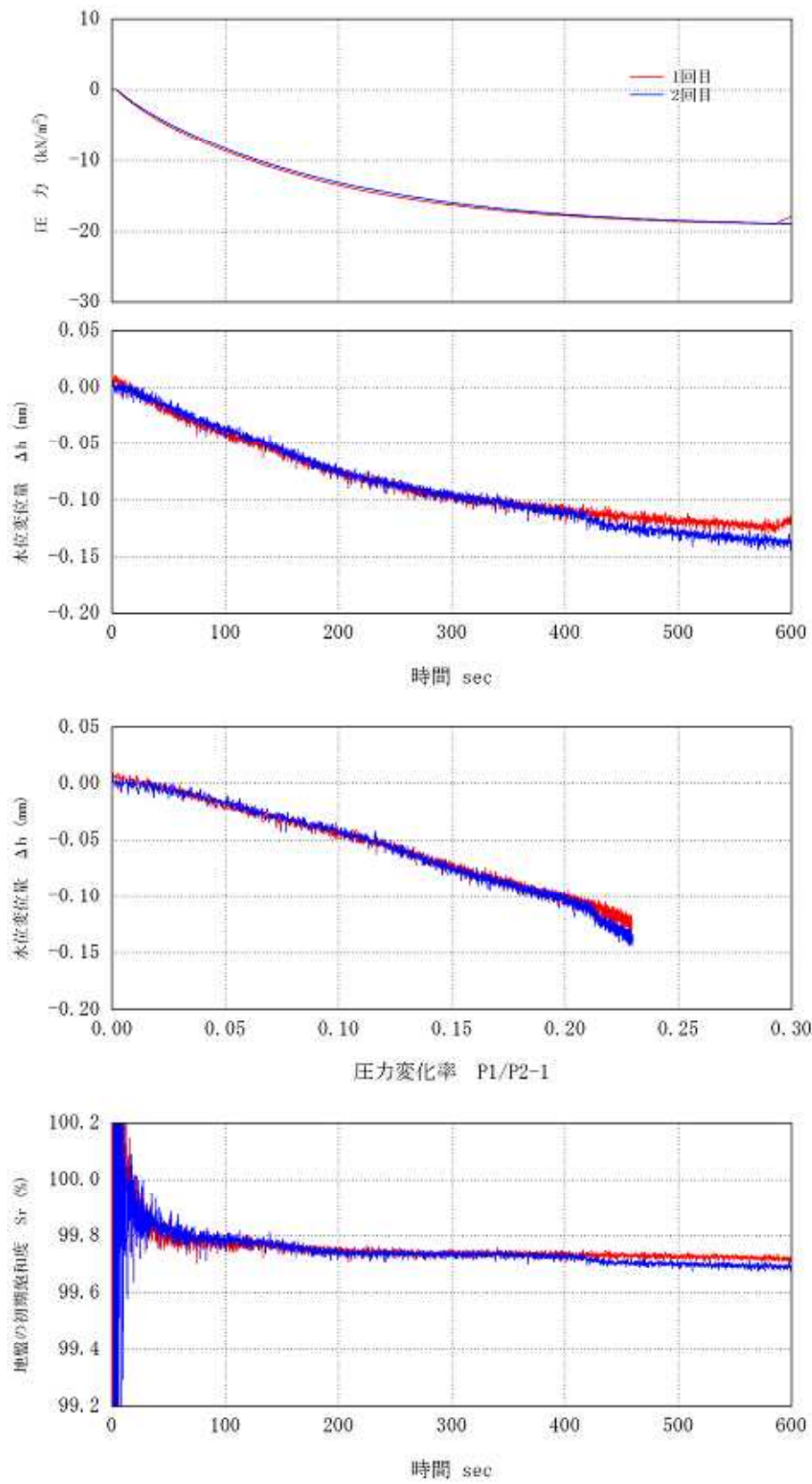


図 4.1-1(c) 圧力、水面変位、飽和度の推移状況(CASE3)

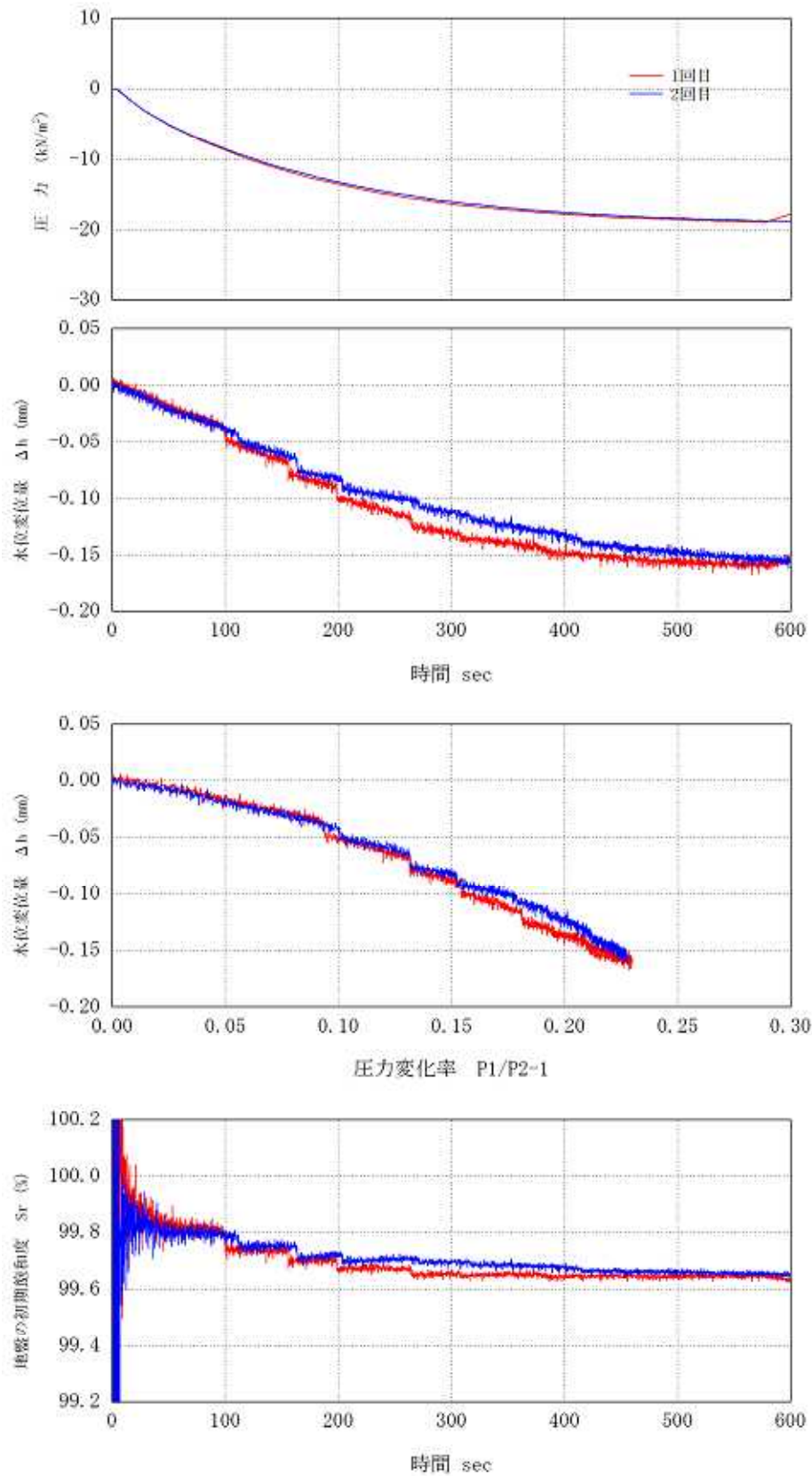


図 4.1-1(d) 圧力、水面変位、飽和度の推移状況(CASE4)

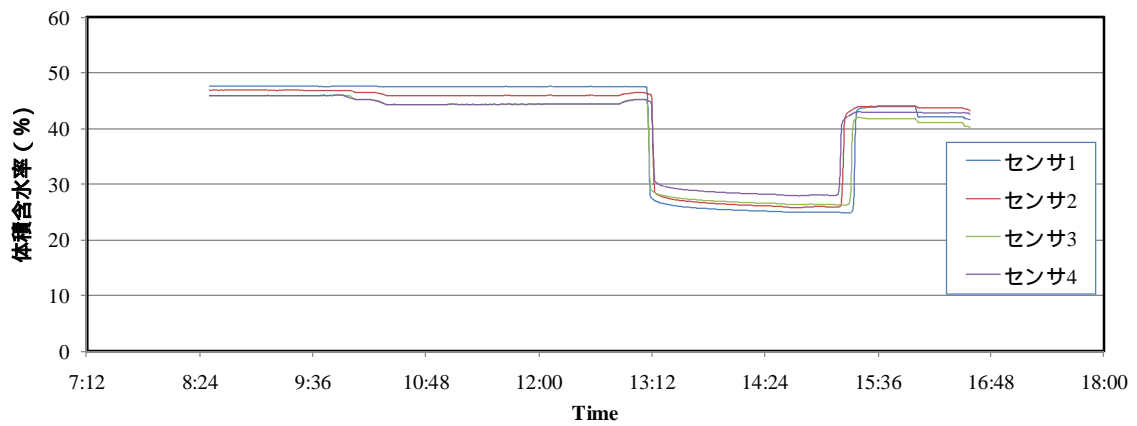
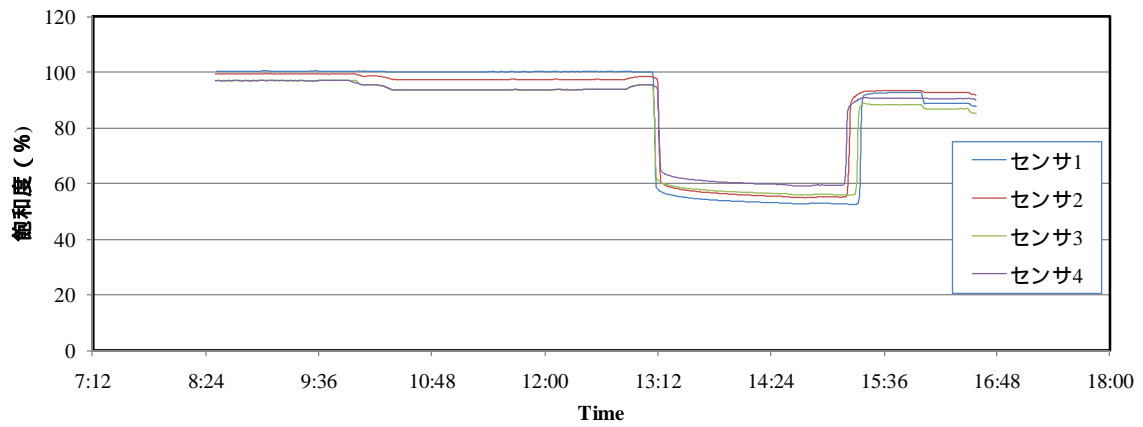
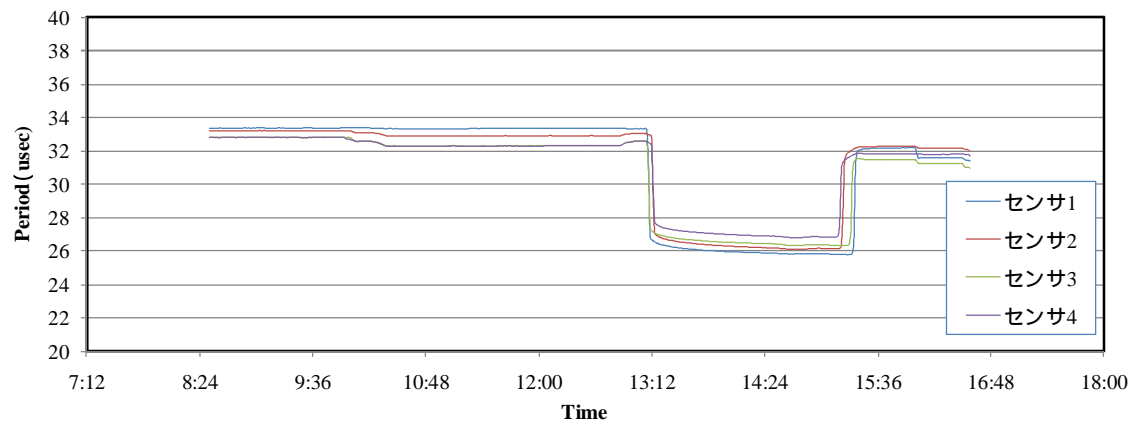


図 4.1-2(a) 重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの飽和度推移 (CASE0)

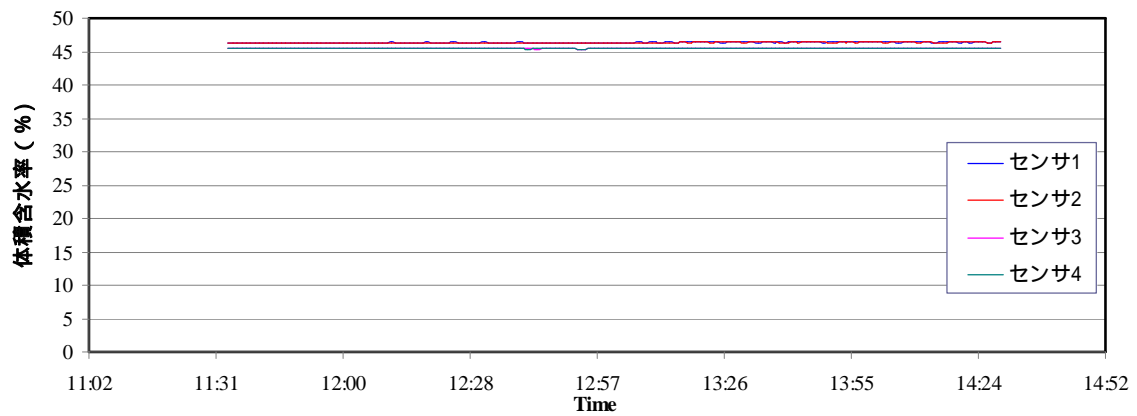
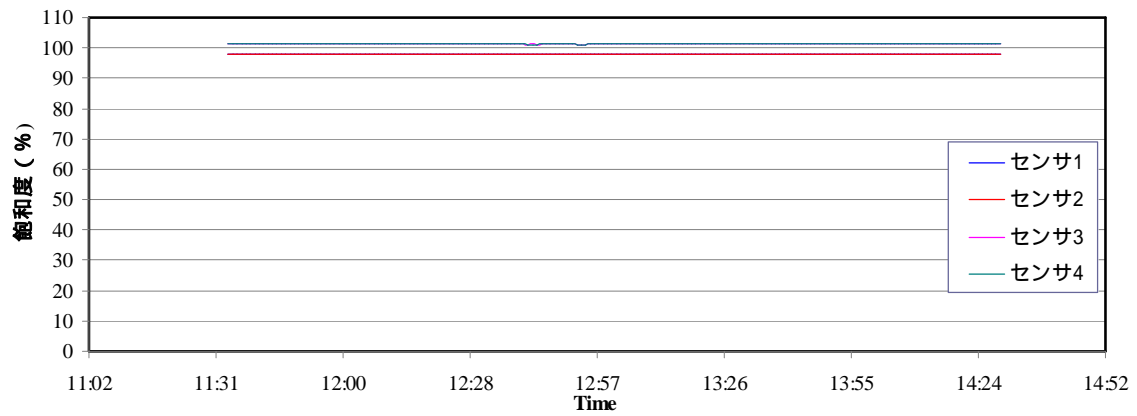
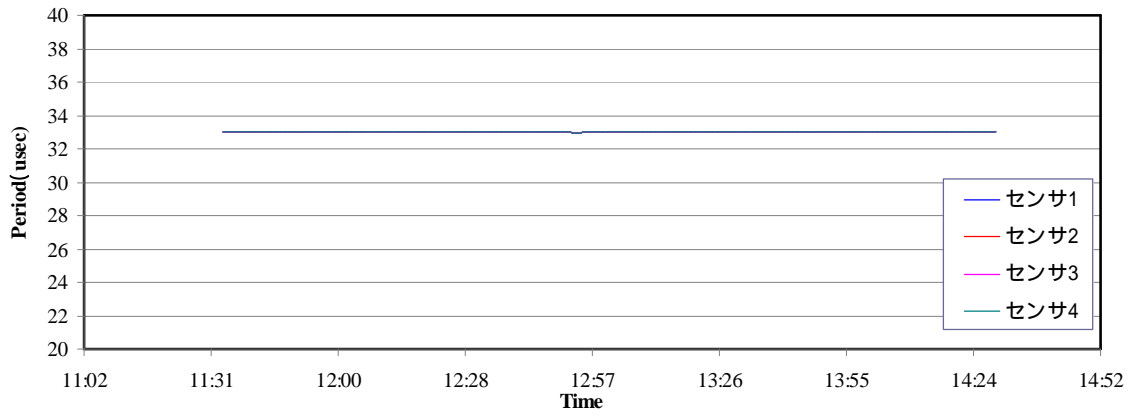


図 4.1-2(b) 重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの飽和度推移 (CASE1)

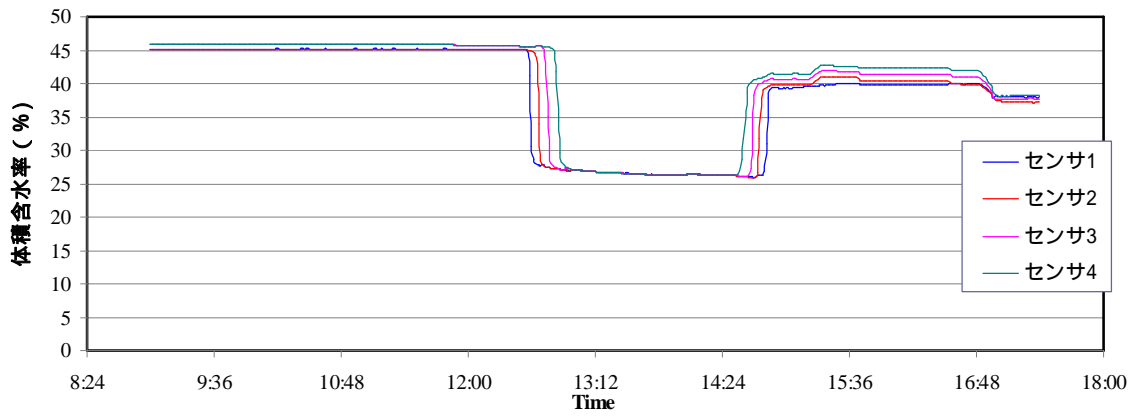
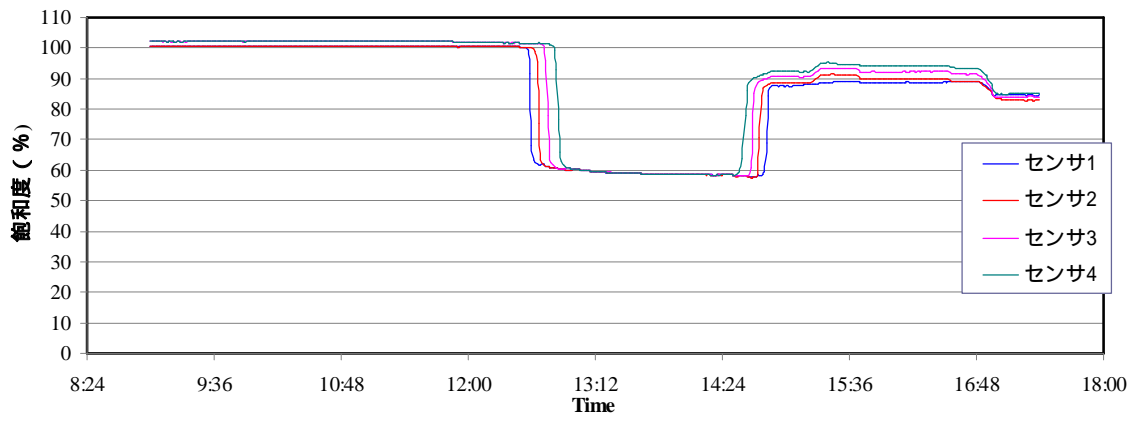
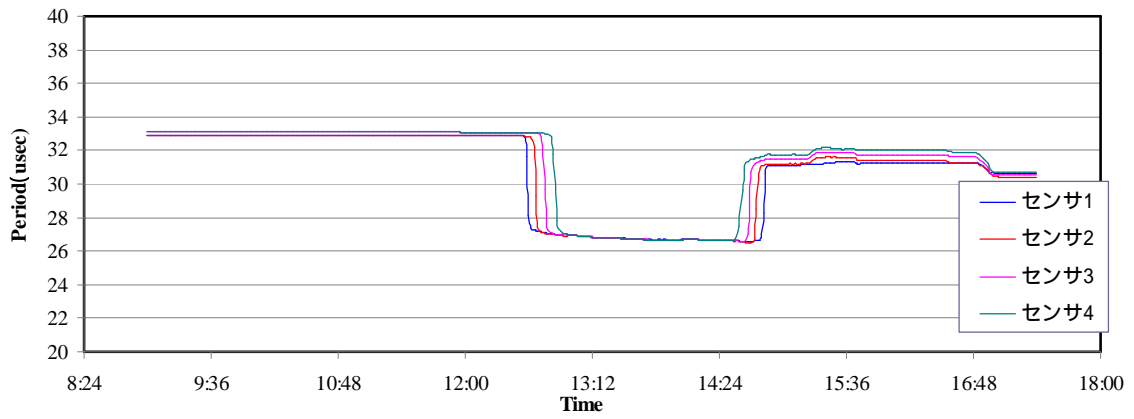


図 4.1-2(c) 重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの飽和度推移 (CASE2)

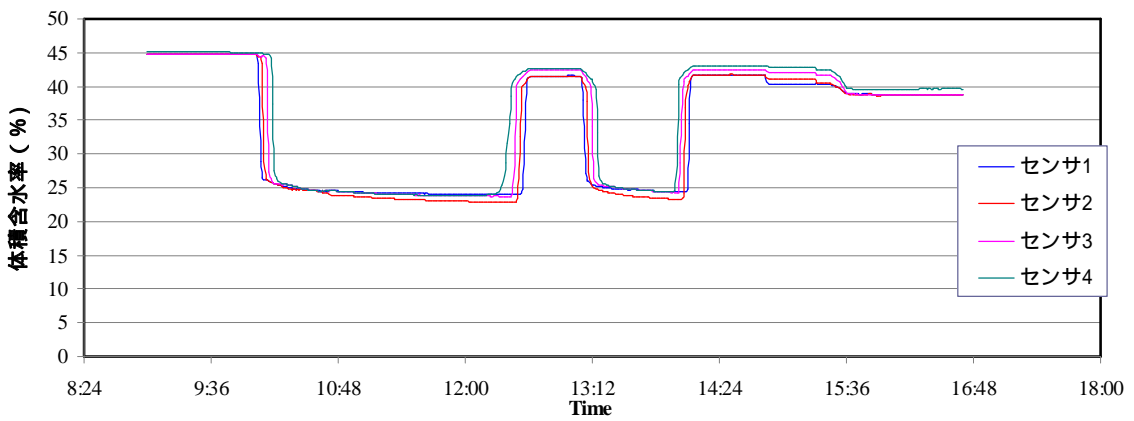
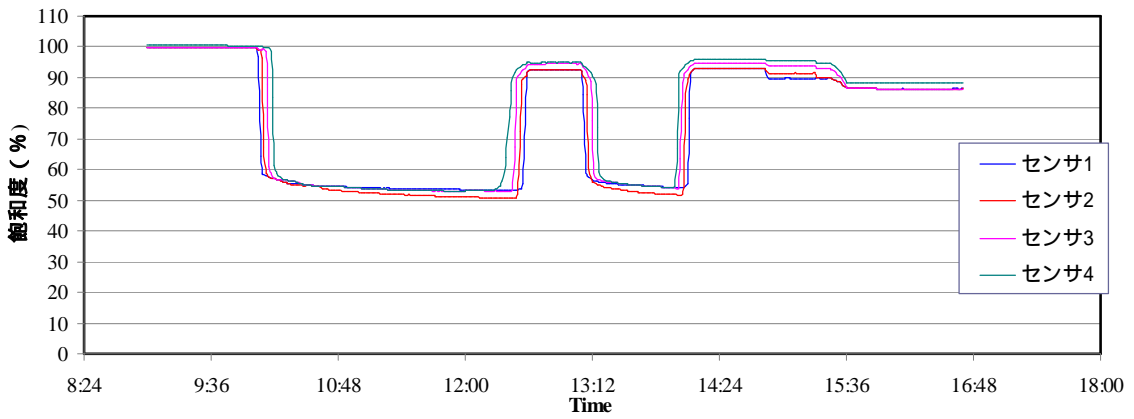
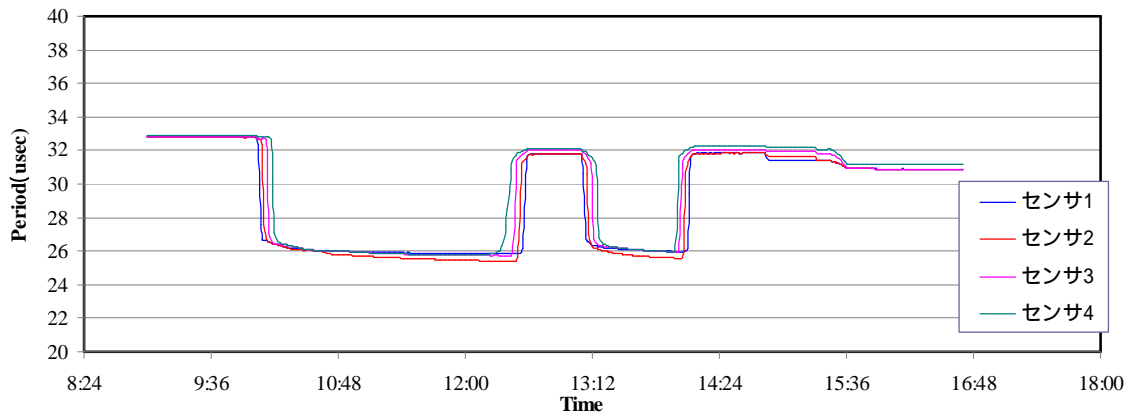


図 4.1-2(d)重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの飽和度推移(CASE2 )

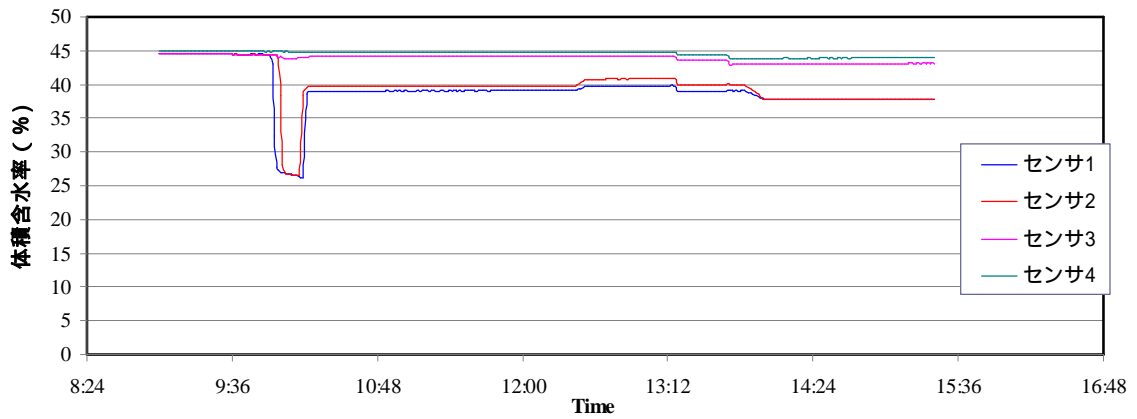
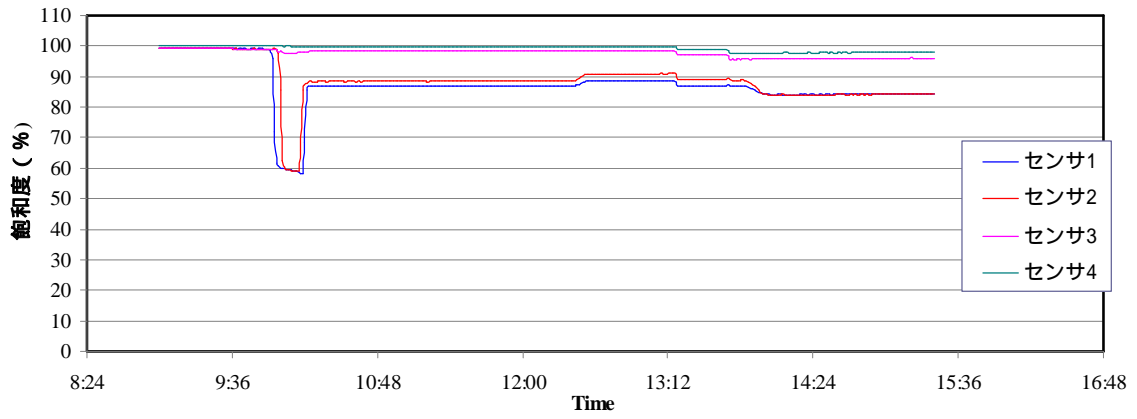
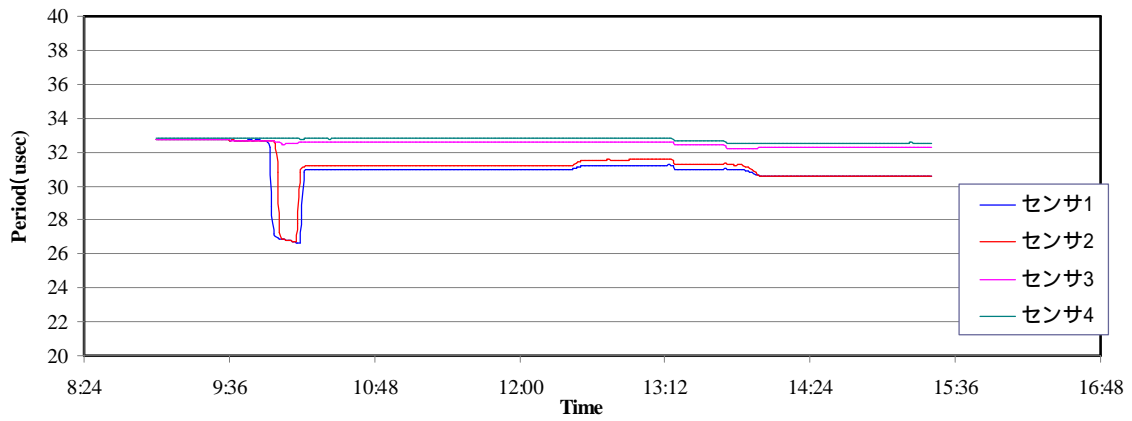


図 4.1-2(e)重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの飽和度推移 (CASE3:部分不飽和)

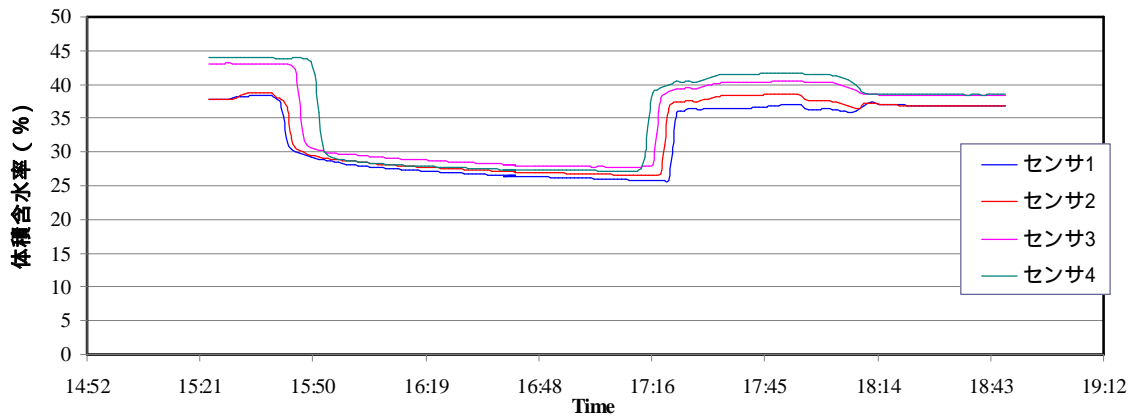
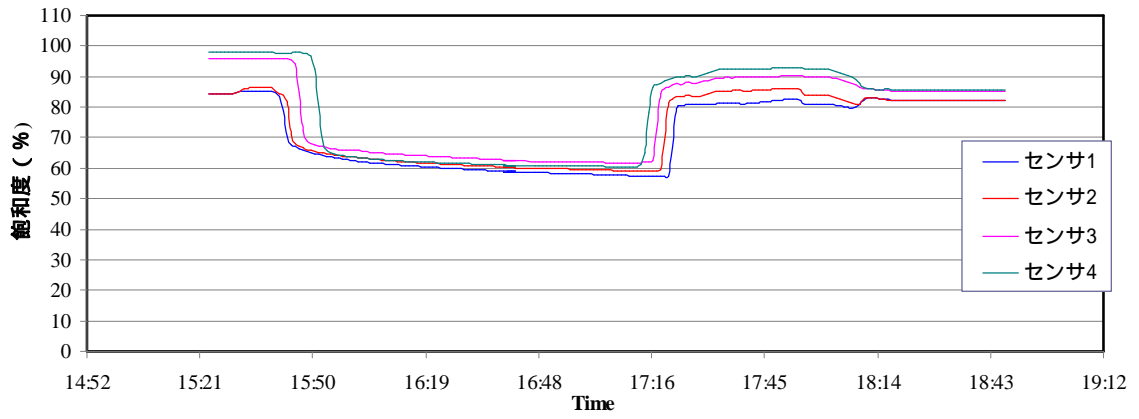
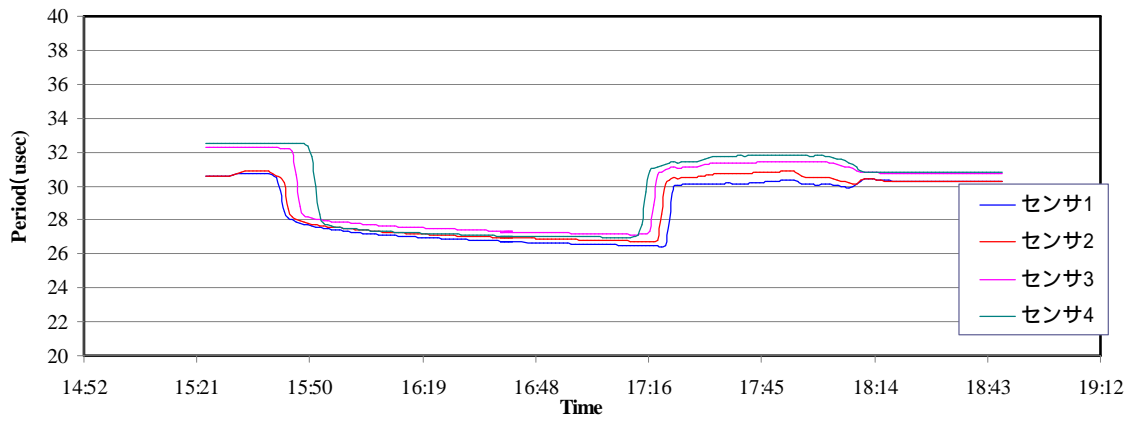


図 4.1-2(f)重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの飽和度推移(CASE3: マイクロバブル混入)



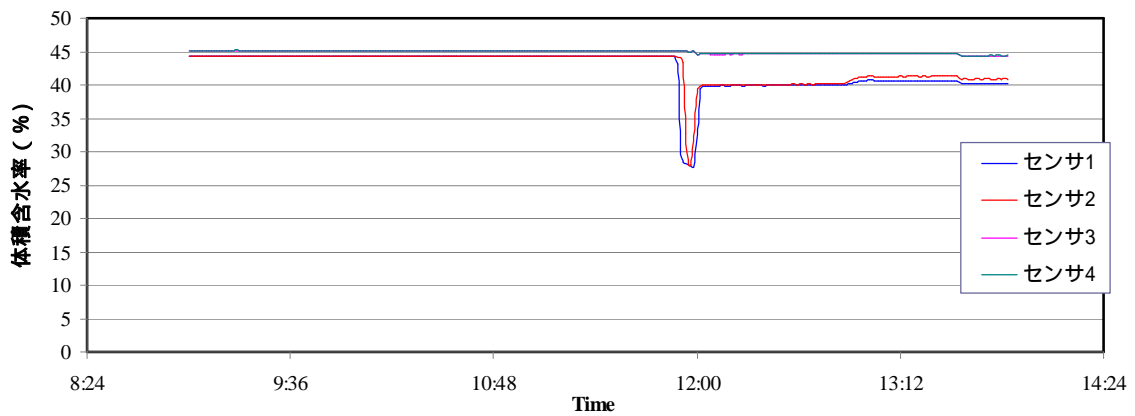
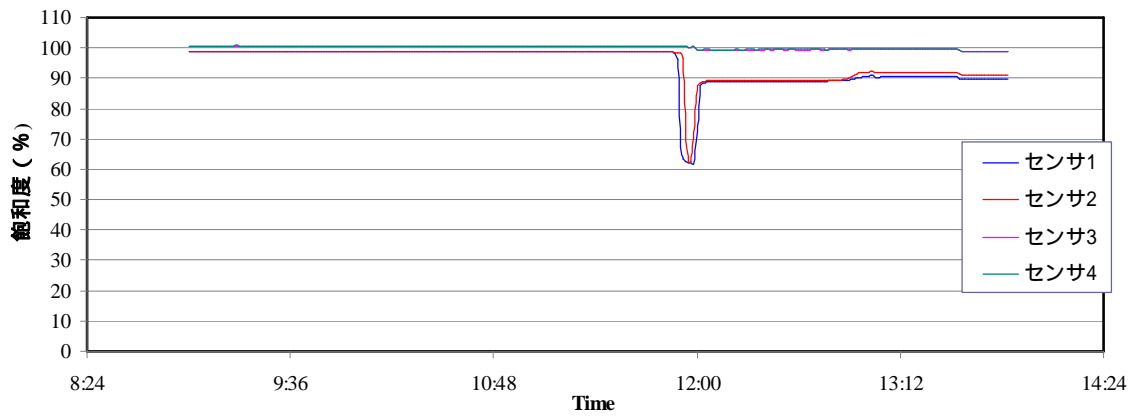
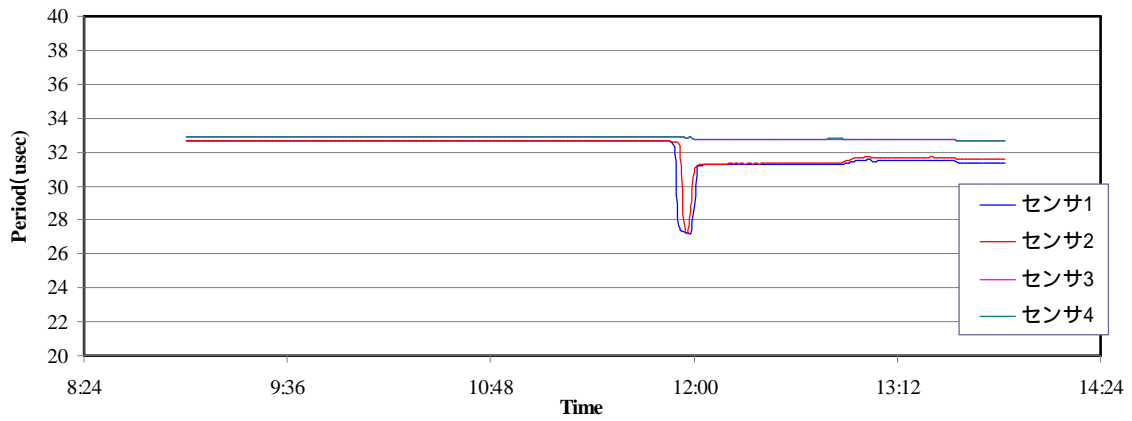


図 4.1-2(g)重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの飽和度推移 (CASE4:部分不飽和)

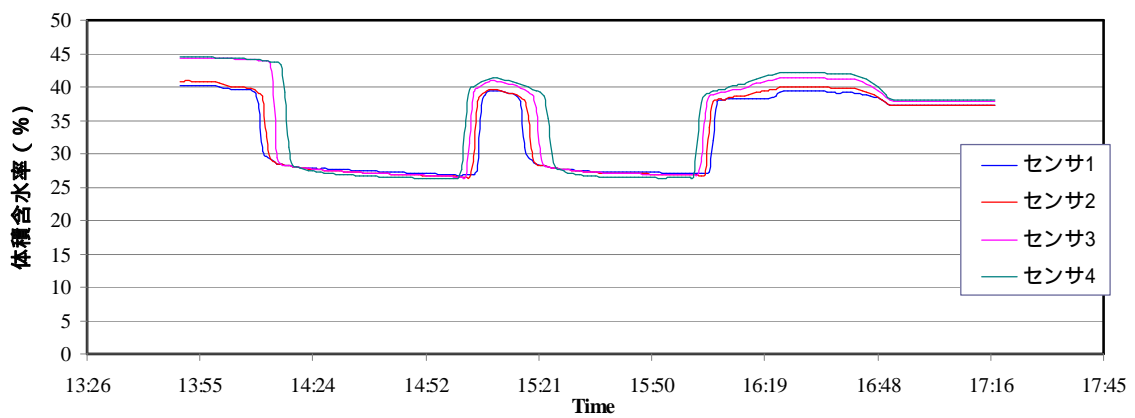
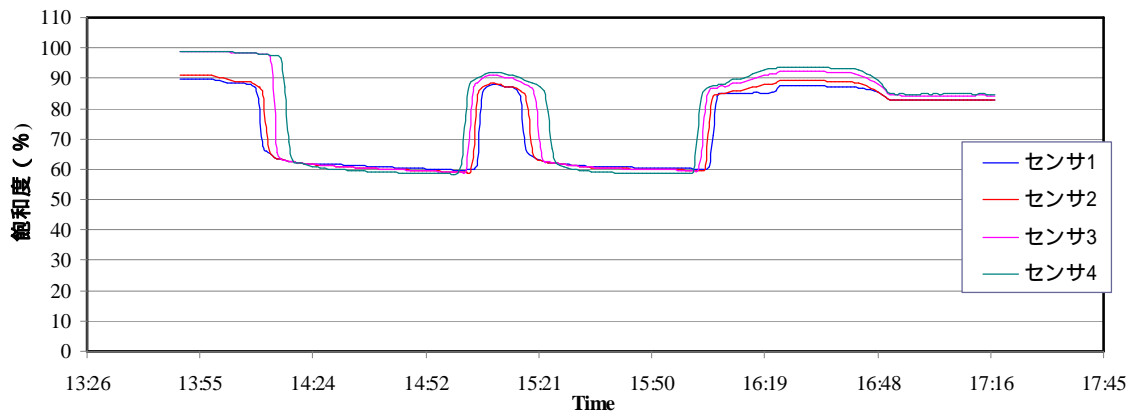
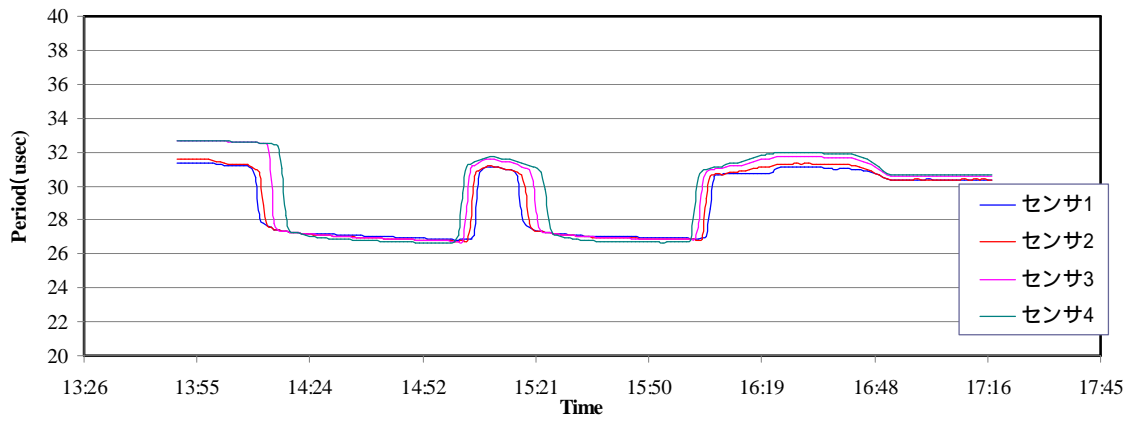


図 4.1-2(h)重力場から遠心重力場 50G の加振直前に至るまでの  
飽和度推移 (CASE4: マイクロバブル混入)

### 3.3 加振結果

#### 3.3.1 地盤及び住宅模型の変位量

加振時に測定した地盤及び住宅模型の沈下量測定結果一覧を表 3.3-1 に水平変位量測定結果一覧を表 3.3-2 に示す。

図 3.3-1(a)に STEP1 における住宅模型沈下量の時刻歴の比較(CASE0-1、CASE0-2)を示す。図 3.3-1(b)に STEP2 における住宅模型沈下量の時刻歴の比較(CASE0-1、CASE0-2)を示す。

図 3.3-1(a)および図 3.3-1(b)において、D 値 88%の地盤に比べ D 値 92%の地盤の方が模型の沈下量が小さい事が分かる。

図 3.3-2(a)に、STEP1 における住宅模型沈下量の時刻歴の比較(CASE1、CASE2'、CASE3)を示す。図 3.3-2(b)に、STEP2 における住宅模型沈下量の時刻歴の比較(CASE1、CASE2'、CASE3)を示す。住宅模型の最終沈下量の比較を図 3.3-3 に示す。

CASE1(飽和地盤)と CASE2(不飽和地盤)の沈下量の比較をすると、不飽和地盤である CASE2 の方が小さくなる傾向であった。

沈下の大半は加振中に起きており、即時沈下的に起きたと考えられる。今回の実験では沈下のほとんどが加振中に即時沈下的に起きており比較は難しいものの、CASE1 と CASE2 に比べ CASE3 の沈下量は 1 割ほど低減され、各点での差も小さくなった。

また、CASE1(飽和)および CASE3(部分不飽和)の時刻歴波形は CASE2(不飽和)に比べ、加振時の動きが小さく、基礎の振動が少なかったことが分かる。この理由として、液状化が発生した事により、振動が上層まで伝わらなかったのではないかと推察される。

地震波で加振を実施した CASE4 の沈下量時刻歴として、図 3.3-4(a)に STEP1(飽和と部分不飽和の比較)の結果を、図 3.3-4(b)に STEP2(飽和とマイクロバブルの比較)を示す。

図 3.3-4(a)および図 3.3-4(b)より、兵庫県南部地震レベルの地震波において、部分不飽和地盤およびマイクロバブル水を混入した不飽和地盤の沈下量は、飽和地盤に比べて若干ではあるが低減されている。

表 3.3-1 地盤及び住宅模型の沈下量測定結果一覧

CASE	STEP	地盤条件		模型沈下量 (DVM1)		模型沈下量 (DVM2)		模型沈下量 (DVM3)		模型沈下量 (DVM4)		地盤沈下量 (DVG)		地盤沈下量 (DVG2)		平均沈下量 (m)	
		締固め度 D (%)	飽和度 Sr (%)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)		
0-1	1	87.7	93.0	0.396	0.401	0.408	0.417	0.379	0.382	0.381	0.387	0.295	0.320	-	-	0.320	
	2			0.734	0.745	0.725	0.740	0.709	0.721	0.687	0.699	0.530	0.547	-	-		0.547
0-2	1	91.6	91.7	0.272	0.269	0.280	0.280	0.203	0.204	0.211	0.211	0.156	0.158	-	-	0.158	
	2			0.472	0.473	0.483	0.486	0.420	0.421	0.423	0.424	0.315	0.388	-	-		0.388
1	1	92.0	100.0	0.342	0.342	0.317	0.315	0.254	0.255	0.235	0.234	0.228	0.230	-	-	0.230	
	2			0.651	0.691	0.607	0.652	0.563	0.602	0.540	0.582	0.337	0.438	-	-		0.438
2	1	90.3	92.1	0.416	0.425	0.460	0.465	0.401	0.409	0.462	0.470	0.183	0.181	-	-	0.181	
	2			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
2'	1	91.9	94.0	0.299	0.303	0.306	0.308	0.224	0.229	0.238	0.241	0.162	0.169	0.210	0.218	0.194	
	2			0.699	0.721	0.689	0.709	0.588	0.610	0.589	0.604	0.388	0.423	0.393	0.442		0.433
3	1	92.0	上部 89.9 下部 99.9	0.259	0.273	0.250	0.265	0.227	0.239	0.219	0.231	0.200	0.214	0.183	0.191	0.203	
	2			0.501	0.572	11:52	0.564	0.475	0.548	0.469	0.537	0.348	0.423	0.330	0.380		0.402
	3			0.197	0.203	0.199	0.203	0.168	0.174	0.174	0.179	0.174	0.179	0.158	0.167		0.145
4-1	1	92.0	100.0	0.164	0.164	0.177	0.179	0.165	0.165	0.163	0.128	0.088	0.089	-	-	-	
	2			0.080	0.079	0.078	0.078	0.086	0.085	0.082	0.080	0.053	0.051	-	-		
4-2	1	92.1	上部 91.5 下部 99.6	0.147	0.148	0.161	0.163	0.122	0.123	0.132	0.131	0.083	0.084	-	-	-	
	2			0.066	0.064	0.072	0.071	0.059	0.057	0.069	0.067	0.044	0.040	-	-		

注記) ・測定データとは異なり便宜上、沈下方向を正で定義。

・マイクロバブル水を用いたCASE3 STEP3及びCASE4-1,4-2 STEP2については加振前に初期値補正(ゼロクリア)を実施。

表 3.3-2 水平変位量測定結果一覧

CASE	STEP	地盤条件		模型の水平変位量 (重力場)			地盤の水平変位量 (重力場)		
		締固め度 D (%)	飽和度 Sr (%)	DHM (m)			DHG (m)		
				最小値	最大値	残留値	最小値	最大値	残留値
0-1	1	87.7	93.0	-0.103	1.582	0.011	-	-	-
	2			-0.114	1.582	-0.154	-	-	-
0-2	1	91.6	91.7	-0.315	1.198	-0.022	-	-	-
	2			-0.267	1.288	-0.032	-	-	-
1	1	92.0	100.0	-0.119	0.110	0.036	-0.184	-0.245	0.015
	2			-0.121	0.247	0.096	-0.410	-	0.105
2	1	90.3	92.1	-0.110	0.091	-0.028	-0.117	0.393	-0.024
	2			-	-	-	-	-	-
2'	1	91.9	94.0	-0.115	0.096	-0.038	-0.105	-	0.015
	2			-0.153	-	-	-0.168	-	0.048
3	1	92.0	上部 89.9 下部 99.9	-0.102	0.097	-0.004	-0.345	-	0.034
	2			-0.133	0.175	0.446	-0.322	-	0.122
	3			-	-	-	-	-	0.047
4-1	1	92.0	100.0	-0.104	0.046	0.009	-	-	-
	2			-0.090	0.053	0.001	-	-	-
4-2	1	92.1	上部 91.5 下部 99.6	-	-	-0.021	-	-	-
	2		上部 87.4 下部 92.6	-	-	-0.018	-	-	-

注記) ・マイクロバブル水を用いたCASE3 STEP3及びCASE4-1,4-2 STEP2については加振前に初期値補正(ゼロクリア)を実施。

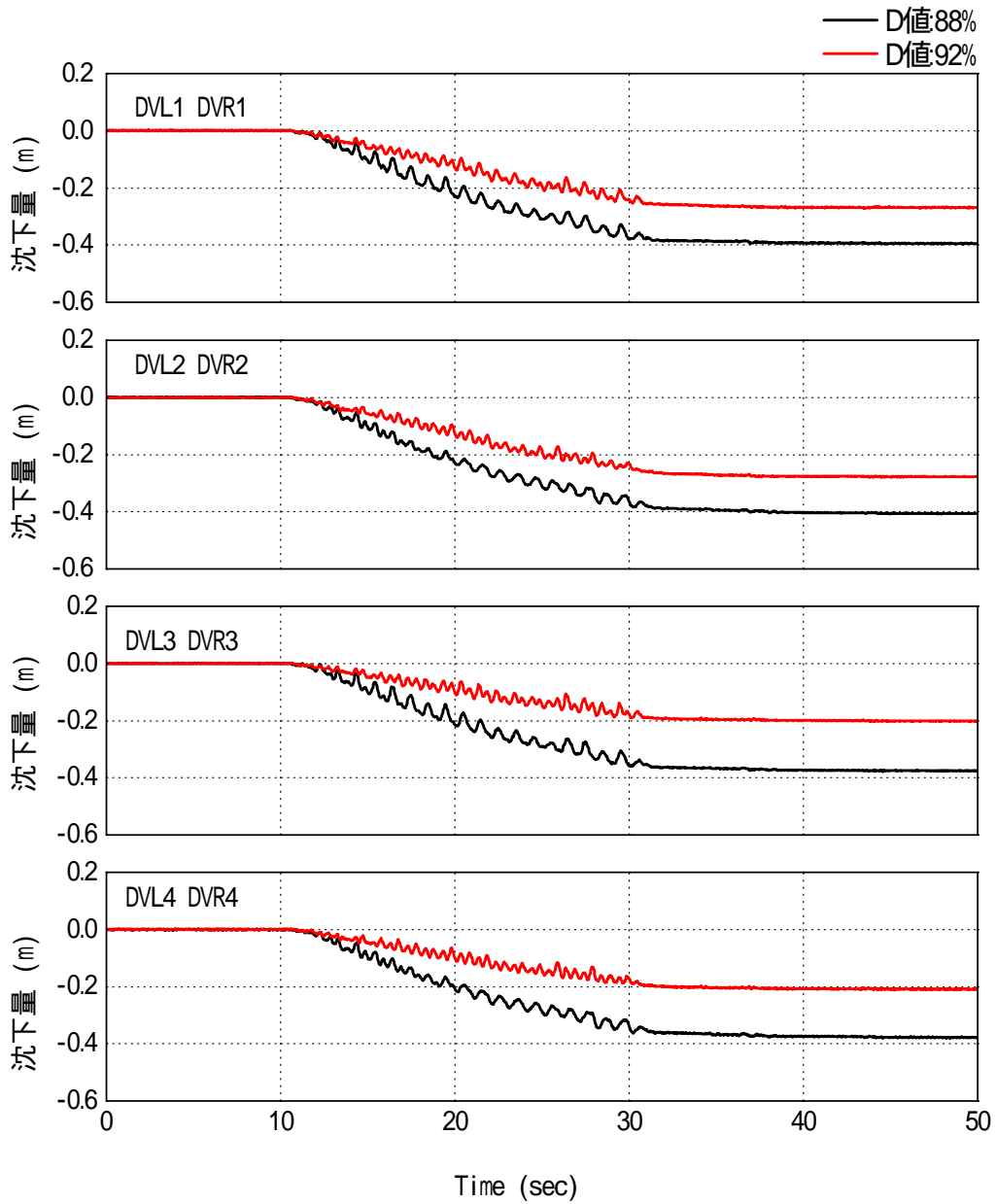


図 3.3-1(a) STEP1 における住宅模型沈下量の時刻歴の比較(CASE0-1、CASD0-2)

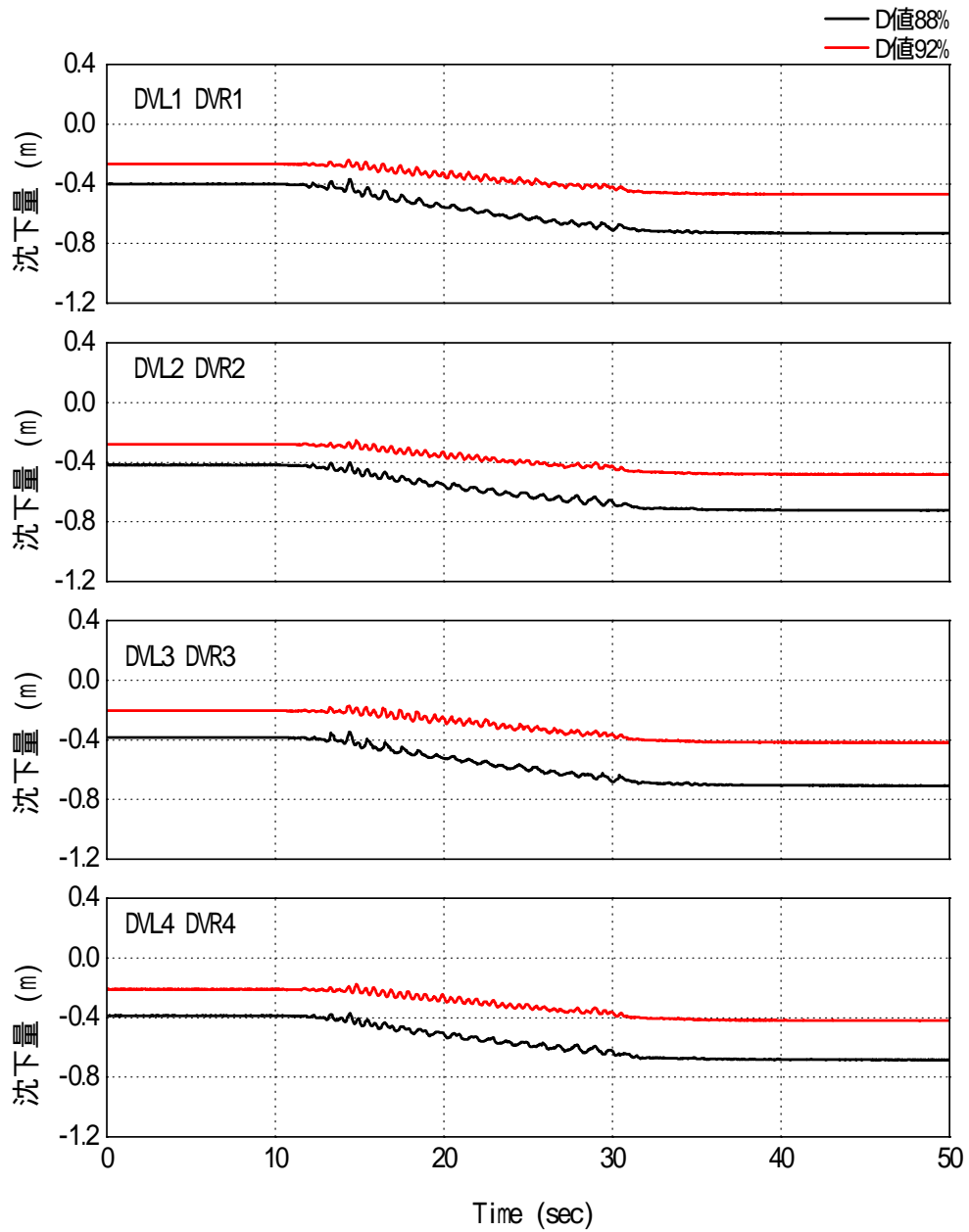


図 3.3-1(b) STEP2 における住宅模型沈下量の時刻歴の比較(CASE0-1、CASD0-2)

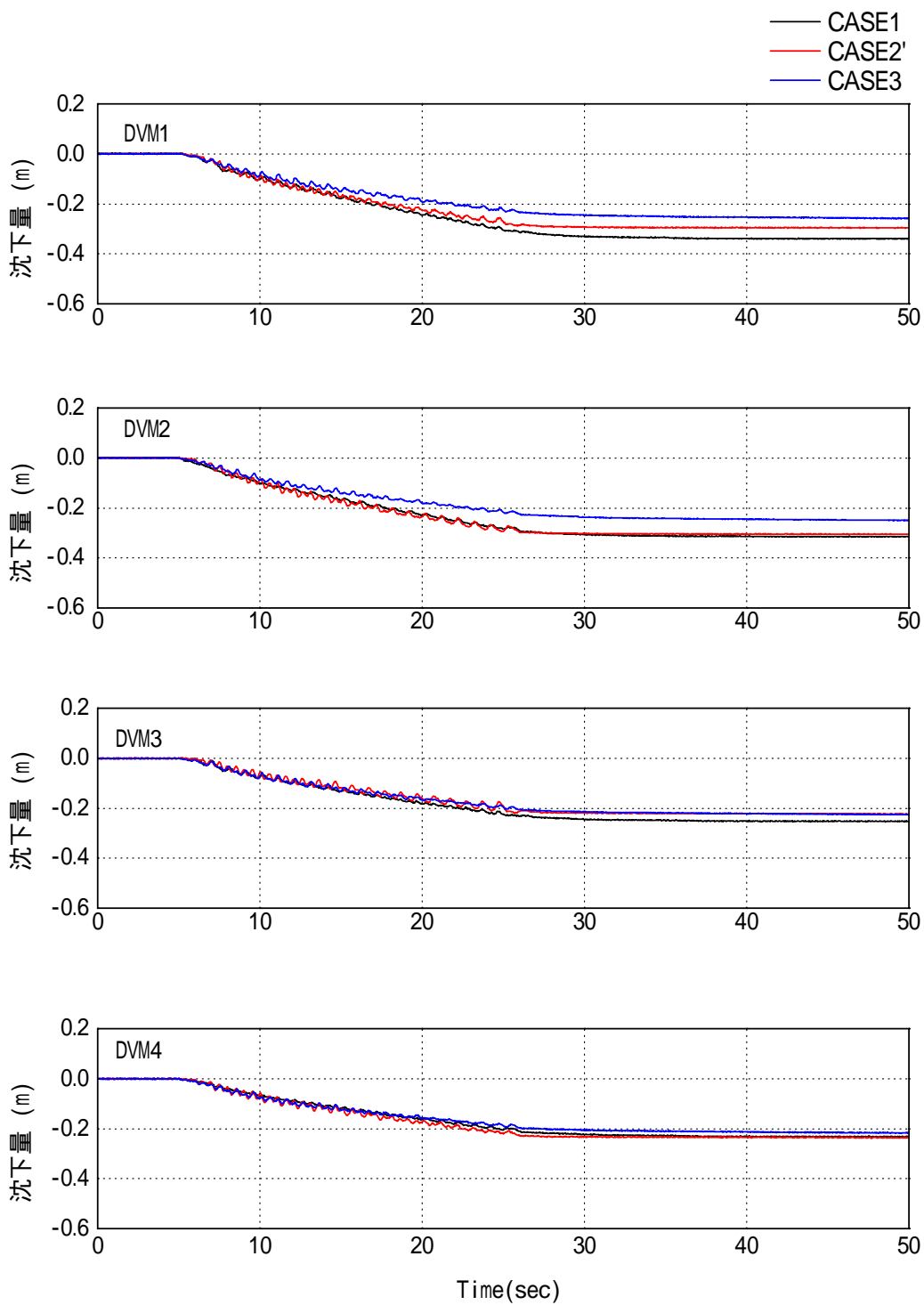


図 3.3-2(a) STEP1 における住宅模型沈下量の時刻歴の比較 (CASE1、CASE2、CASE3)



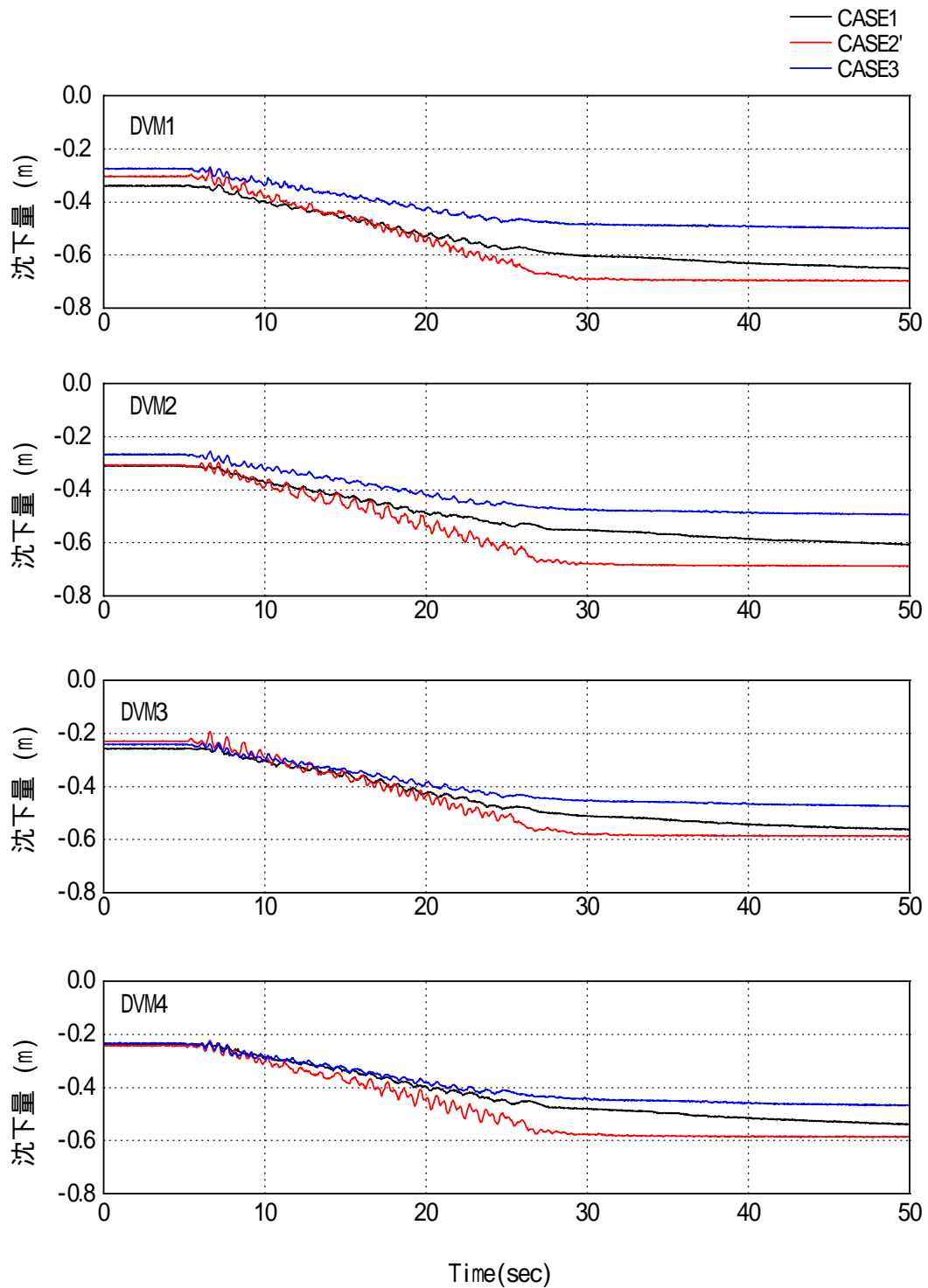


図 3.3-2(b) STEP2 における住宅模型沈下量の時刻歴の比較(CASE1、CASE2'、CASE3)

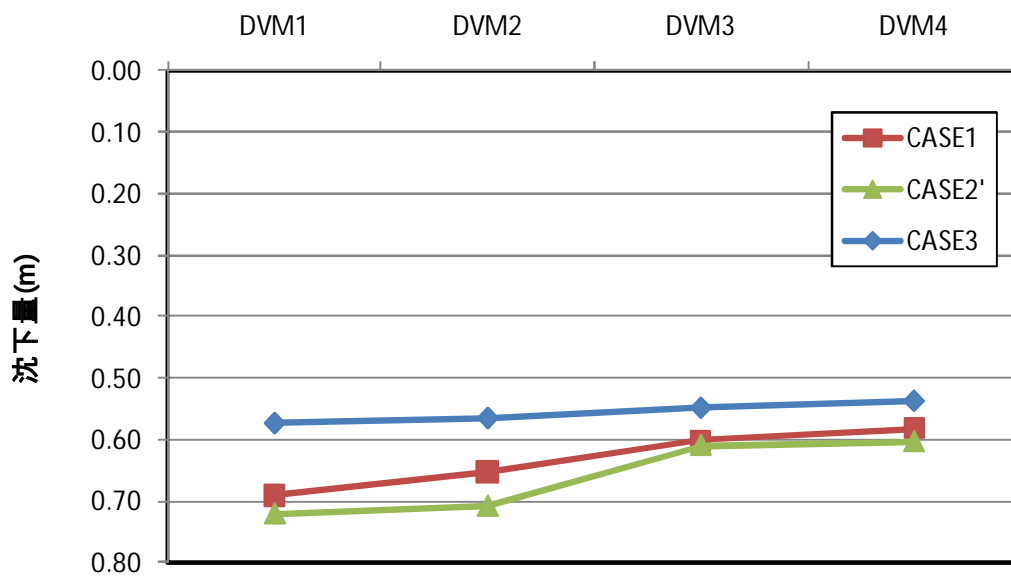
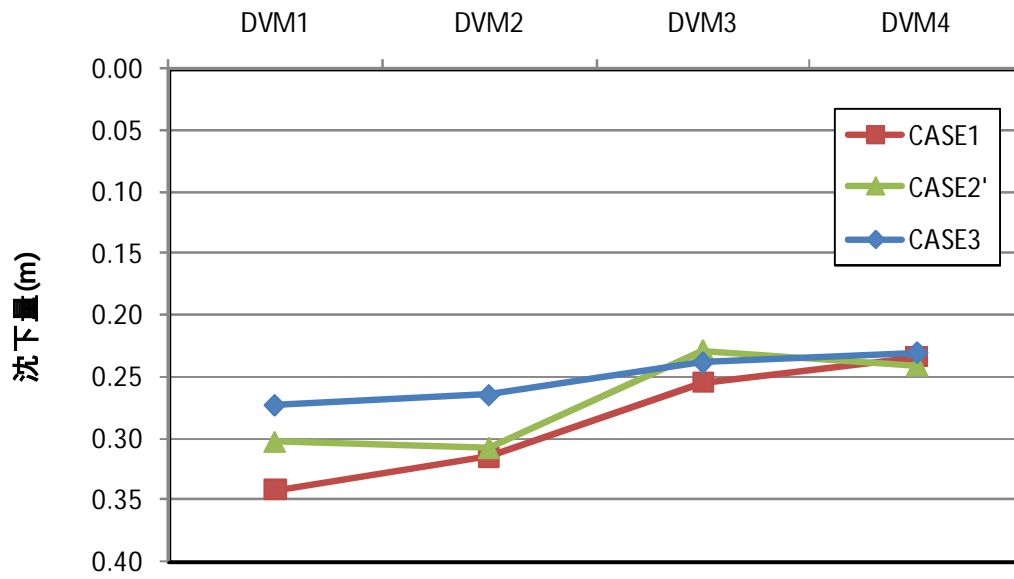


図 3.3-3 住宅模型の最終沈下量の比較

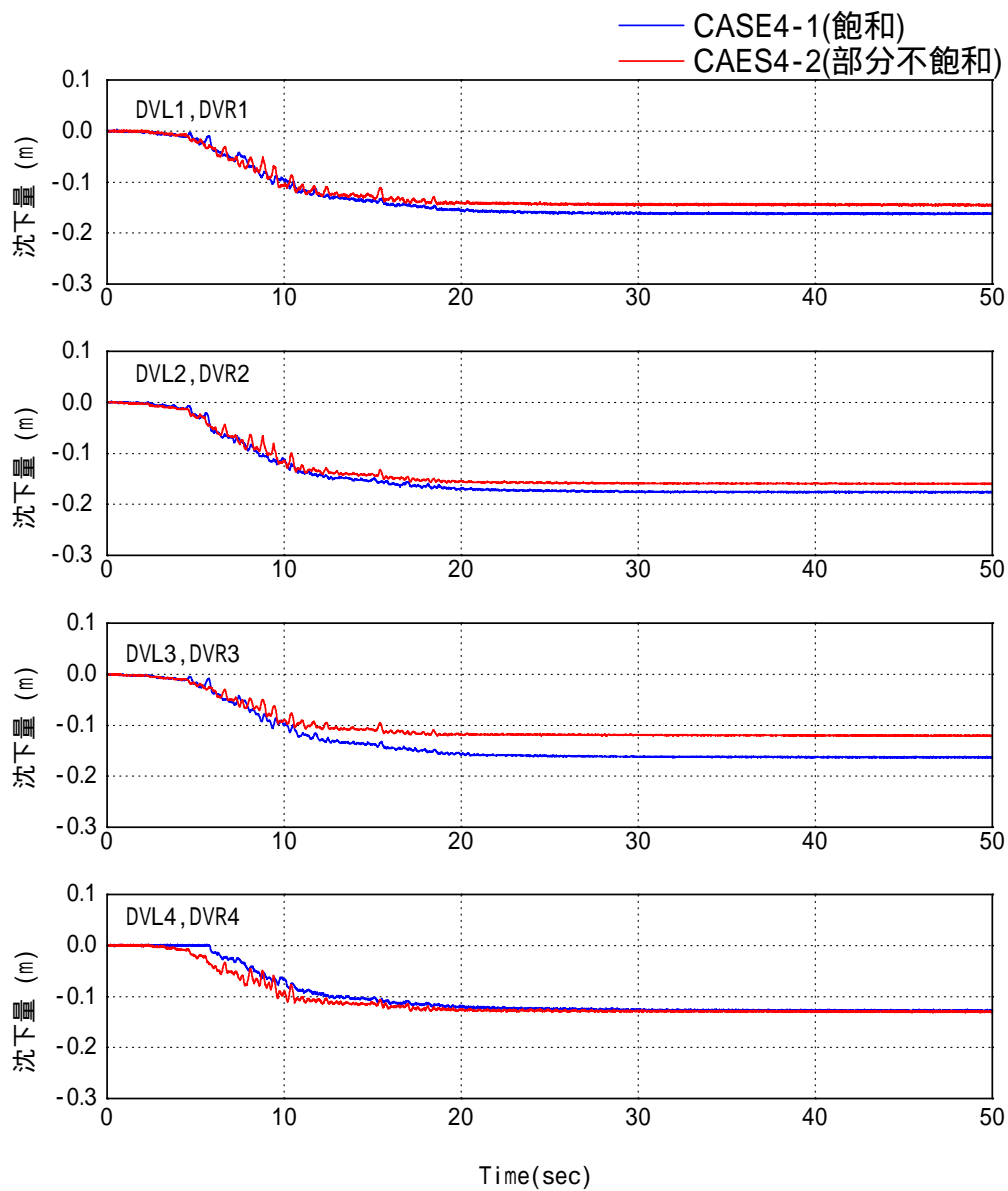


図 3.3-4(a) CASE4 STEP1 沈下量時刻歴(飽和と部分不飽和の比較)

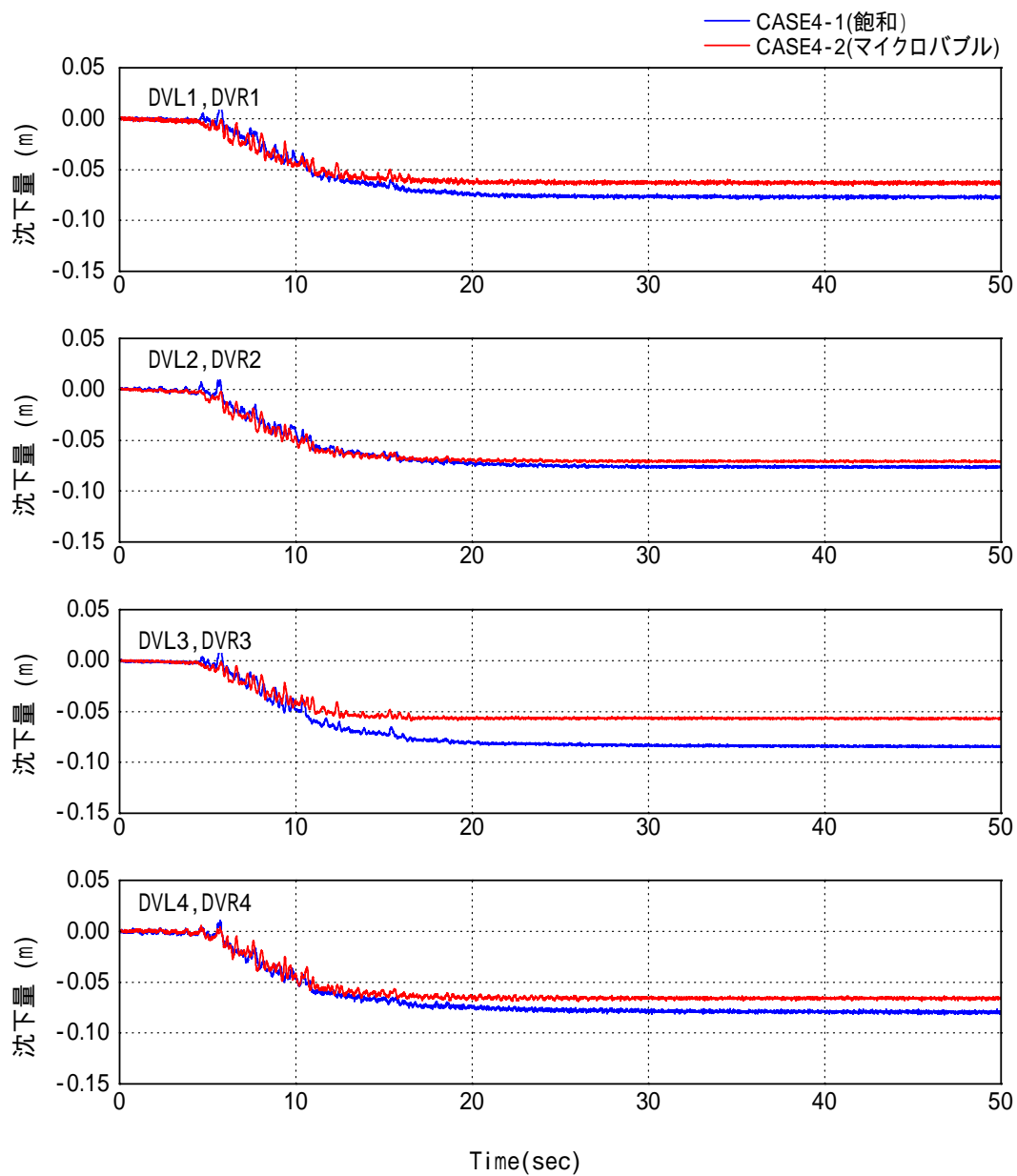


図 3.3-4(b) CASE4 STEP1 沈下量時刻歴(飽和とマイクロバブルの比較)

### 3.3.2 過剰間隙水圧特性

過剰間隙水圧最大値および過剰間隙水圧比の結果一覧を表 3.3-3(a) および表 3.3-3(b) に示す。また、CASE1~3 に対し、以下のような方法で算出した加振初期(主要動 5 波)の最大過剰間隙水圧、水圧比の一覧を表 3.3-4(a) ~ (e) に示す。

#### 主要動 5 波目までの整理方法

< 過剰間隙水圧 >

- ・ 振動成分によるデータのばらつきを抑えるため、スムージング処理 (隣接平均 120 ポイント) を行い、漸増成分を抽出する。(巻末の時刻歴波形図参照)
- ・ 入力波形の初めの 5 波に相当する、最大値を抽出してデータ整理を行う。

図 3.3-5(a) に STEP1 における過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE0-1、CASE0-2)を示す。図 3.3-5(b) に STEP2 における過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE0-1、CASE0-2)を示す。CASE0-1(D 値:88%)と CASE0-2(D 値:92%)を比較すると、D 値 88%の地盤の方が D 値 92%の地盤に比べ水圧の上昇が低い事が分かる。

図 3.3-6(a) および図 3.3-6(b) に過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE1、CASE2、CASE3)を示す。図 3.3-7(a) および図 3.3-7(b) に主要動 5 波目までの過剰間隙水圧の比較を示す。過剰間隙水圧は、CASE1 および CASE3 の下層部(GL-15m)において急激に水圧が上昇したのに対し、CASE2 上層部 (GL-9m) および CASE3 の不飽和地盤の水圧は緩やかな上昇であった。しかし、CASE2 の GL-9m では初期の水圧の上昇は小さいものの加振後半になるに従い上昇が大きくなり、最大値も CASE1 と同程度となった。一方、CASE3 においては水圧の上昇変化も少なく最大値も小さくなった。

地震波で加振を実施した CASE4 の過剰間隙水圧時刻歴として、図 3.3-8(a) に STEP1(飽和と部分飽和の比較)の結果を、図 3.3-8(b) に STEP2(飽和とマイクロバブルの比較)を示す。

図 3.3-9(a) ~ 図 3.3-9(g) に最大過剰間隙水圧および最大応答加速度の深度分布を示す。これより、STEP1 においては CASE1 で GL-9m 付近から表層にかけて最大過剰間隙水圧が有効上載圧  $z$  と等しくなり液状化した。CASE2 および CASE3 では全層で  $z$  に達しなかったことが分かる。一方、STEP2 では CASE1 において GL-15m の液状化層底盤部から最大過剰間隙水圧が  $z$  に達して液状化が発生し、CASE2 においても土槽下部層では水圧は小さく液状化を抑止しているものの GL-7m 付近から表層にかけ水圧が  $z$  に達しており液状化に至ったものと考えられる。一方、CASE3 においては土槽下部で水圧が  $z$  に達しているものの GL-7m 以浅の不飽和層では有効上載圧まで達しておらず基礎底盤部の液状化を抑止したものと考えられる。

表 3.3-3(a) 過剰間隙水圧最大値および過剰間隙水圧比の結果一覧

< STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	CASE1 (D=92.0%, Sr=100%)			CASE2 (D=90.3%, Sr=92.1%)			CASE2' (D=91.9%, Sr=94.0%)			CASE3 (D=92.0%, Sr=89.8 ~ 99.0%)			CASE3 STEP3(参考)			備考
				有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	液化化層	3.0	P1-7	43.2	21.4	0.49	42.26	40.00	0.95	43.1	35.6	0.82	43.2	30.3	0.70	43.2	16.3	0.38	
		6.0	P1-6	71.3	1.0	0.01	69.80	0.00	0.00	71.2	45.8	0.64	71.2	63.6	0.89	71.2	49.9	0.70	
		9.0	P1-5	99.3	103.3	1.04	97.34	85.40	0.88	99.2	47.4	0.48	99.3	87.0	0.88	99.3	61.9	0.62	
		12.0	P1-4	127.4	102.6	0.80	124.88	57.84	0.46	127.2	46.0	0.36	127.3	101.5	0.80	127.3	52.5	0.41	
	非液化化層上面	15.0	P1-3	155.5	96.6	0.62	152.43	58.21	0.38	155.2	47.3	0.30	155.4	0.9	0.01	155.4	1.1	0.01	
	非液化化層	17.5	P1-2	179.7	96.2	0.54	176.71	55.37	0.31	179.4	48.5	0.27	179.7	88.9	0.49	179.7	51.0	0.28	
模型直下地盤	液化化層 (D=92.0%)	3.0	P2-7	57.8	48.3	0.84	56.90	31.67	0.56	57.8	41.9	0.72	57.8	24.3	0.42	57.8	18.6	0.32	
		6.0	P2-6	85.9	83.8	0.98	84.45	90.07	1.07	85.8	66.1	0.77	85.9	67.8	0.79	85.9	70.4	0.82	
		9.0	P2-5	114.0	104.5	0.92	111.99	74.91	0.67	113.8	49.6	0.44	113.9	48.7	0.43	113.9	53.9	0.47	
		12.0	P2-4	142.1	115.4	0.81	139.53	3.69	0.03	141.9	-	-	142.0	5.0	0.04	142.0	6.3	0.04	
	非液化化層上面	15.0	P2-3	170.1	108.0	0.64	167.07	68.67	0.41	169.9	47.7	0.28	170.0	118.7	0.70	170.0	64.6	0.38	
	非液化化層	17.5	P2-2	194.4	107.6	0.55	191.35	67.72	0.35	194.1	47.5	0.24	194.3	114.0	0.59	194.3	64.3	0.33	
	土層底面	20.0	P2-1	218.6	110.2	0.50	215.64	66.23	0.31	218.3	46.8	0.21	218.6	110.2	0.50	218.6	68.7	0.31	入力加速度

< STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	CASE1 (D=92.0%, Sr=100%)			CASE2 (D=90.3%, Sr=92.1%)			CASE2' (D=91.9%, Sr=94.0%)			CASE3 (D=92.0%, Sr=89.8 ~ 99.0%)			CASE4			備考
				有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	液化化層 (D=90.3%)	3.0	P1-7	43.2	23.0	0.53	-	-	-	43.1	44.7	1.04	43.2	37.3	0.86				
		6.0	P1-6	71.3	0.6	0.01	-	-	-	71.2	72.8	1.02	71.2	85.9	1.21				
		9.0	P1-5	99.3	125.9	1.27	-	-	-	99.2	93.7	0.94	99.3	120.5	1.21				
		12.0	P1-4	127.4	155.7	1.22	-	-	-	127.2	90.6	0.71	127.3	152.7	1.20				
	非液化化層上面	15.0	P1-3	155.5	143.7	0.92	-	-	-	155.2	91.3	0.59	155.4	1.4	0.01				
	非液化化層	17.5	P1-2	179.7	137.7	0.77	-	-	-	179.4	90.5	0.50	179.7	134.4	0.75				
模型直下地盤	液化化層	3.0	P2-7	57.8	49.8	0.86	-	-	-	57.8	73.2	1.27	57.8	29.4	0.51				
		6.0	P2-6	85.9	94.4	1.10	-	-	-	85.8	96.9	1.13	85.9	69.6	0.81				
		9.0	P2-5	114.0	121.0	1.06	-	-	-	113.8	92.1	0.81	113.9	55.7	0.49				
		12.0	P2-4	142.1	148.9	1.05	-	-	-	141.9	-	-	142.0	6.5	0.05				
	非液化化層上面	15.0	P2-3	170.1	157.9	0.93	-	-	-	169.9	85.5	0.50	170.0	146.7	0.86				
	非液化化層	17.5	P2-2	194.4	154.4	0.79	-	-	-	194.1	85.3	0.44	194.3	146.7	0.76				
	土層底面	20.0	P2-1	218.6	149.0	0.68	-	-	-	218.3	81.6	0.37	218.6	140.6	0.64				入力加速度

表 3.3-3(b) 過剰間隙水圧最大値および過剰間隙水圧比の結果一覧

< STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	CASE4-1 (D=92.0%, Sr=100%)			CASE4-2 (D=92.1%, Sr=91.1 ~ 99.6%)			備考
				有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	液状化層	3.0	P1-7	31.9	54.8	1.72	31.9	22.9	0.72	
		6.0	P1-6	59.9	106.3	1.77	60.0	50.2	0.84	
		9.0	P1-5	88.0	94.0	1.07	88.0	84.4	0.96	
		12.0	P1-4	116.1	108.3	0.93	116.1	91.4	0.79	
	非液状化層上面	15.0	P1-3	-	-	-	-	-	-	
模型直下 地盤	液状化層 (D=92.0%)	3.0	P2-7	69.8	62.4	0.89	69.8	21.2	0.30	
		6.0	P2-6	97.9	1.8	0.02	97.8	44.9	0.46	
		9.0	P2-5	125.9	102.1	0.81	125.9	69.3	0.55	
		12.0	P2-4	154.0	111.6	0.72	154.0	85.1	0.55	
	非液状化層上面	15.0	P2-3	182.1	118.4	0.65	182.1	80.0	0.44	
	非液状化層	17.5	P2-2	206.4	116.8	0.57	206.4	74.6	0.36	
	土層底面	20.0	P2-1	230.7	124.8	0.54	230.8	101.6	0.44	入力加速度

< STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	CASE4-1 (D=92.0%, Sr=100%)			CASE4-2 (D=92.1%, Sr=86.3 ~ 93.4%)			備考
				有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	液状化層 (D=92.1%)	3.0	P1-7	31.9	43.2	1.35	31.9	7.3	0.23	
		6.0	P1-6	59.9	76.1	1.27	60.0	14.5	0.24	
		9.0	P1-5	88.0	76.1	0.86	88.0	15.6	0.18	
		12.0	P1-4	116.1	96.2	0.83	116.1	22.8	0.20	
	非液状化層上面	15.0	P1-3	-	-	-	-	-	-	
模型直下 地盤	液状化層	3.0	P2-7	69.8	55.7	0.80	69.8	12.4	0.18	
		6.0	P2-6	97.9	1.7	0.02	97.8	10.7	0.11	
		9.0	P2-5	125.9	93.3	0.74	125.9	16.8	0.13	
		12.0	P2-4	154.0	99.0	0.64	154.0	20.2	0.13	
	非液状化層上面	15.0	P2-3	182.1	102.7	0.56	182.1	25.2	0.14	
	非液状化層	17.5	P2-2	206.4	16.2	0.08	206.4	104.4	0.51	
	土層底面	20.0	P2-1	230.7	99.5	0.43	230.8	26.7	0.12	入力加速度

表 3.3-4(a) 最大過剰間隙水圧、水圧比の一覧 (主要動 5 波)

< CASE1 STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	飽和度 Sr (%)	過剰間隙水圧			備考
					有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層	3.0	P1-7	100.0	43.2	8.5	0.20	
		6.0	P1-6		71.3	-	-	
		9.0	P1-5		99.3	73.1	0.74	
		12.0	P1-4		127.4	79.4	0.62	
	非液化化層上面	15.0	P1-3		155.5	81.7	0.53	
	非液化化層	17.5	P1-2		179.7	80.6	0.45	
模型	模型上面	-1.0	-		-	-	-	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	100.0	-	-	-	
	液化化層 (D=92.0%)	3.0	P2-7		57.8	20.6	0.36	
		6.0	P2-6		85.9	52.1	0.61	
		9.0	P2-5		114.0	80.2	0.70	
		12.0	P2-4		142.1	94.7	0.67	
	非液化化層上面	15.0	P2-3		170.1	95.9	0.56	
	非液化化層	17.5	P2-2		194.4	96.2	0.49	
	土層底面	20.0	P2-1		218.6	94.4	0.43	入力加速度

< CASE1 STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	飽和度 Sr (%)	過剰間隙水圧			備考
					有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層 (D=90.3%)	3.0	P1-7	100.0	43.2	14.4	0.33	
		6.0	P1-6		71.3	-	-	
		9.0	P1-5		99.3	68.6	0.69	
		12.0	P1-4		127.4	70.9	0.56	
	非液化化層上面	15.0	P1-3		155.5	74.2	0.48	
	非液化化層	17.5	P1-2		179.7	73.3	0.41	
模型	模型上面	-1.0	-		-	-	-	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	100.0	-	-	-	
	液化化層	3.0	P2-7		57.8	33.7	0.58	
		6.0	P2-6		85.9	62.3	0.73	
		9.0	P2-5		114.0	80.0	0.70	
		12.0	P2-4		142.1	86.8	0.61	
	非液化化層上面	15.0	P2-3		170.1	86.5	0.51	
	非液化化層	17.5	P2-2		194.4	87.2	0.45	
	土層底面	20.0	P2-1		218.6	85.0	0.39	入力加速度



表 3.3-4(b) 最大過剰間隙水圧、水圧比の一覧 (主要動 5 波)

< CASE2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	飽和度 Sr (%)	過剰間隙水圧			備考
					有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	表層 (非液状化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液状化層 (D=90.3%)	3.0	P1-7	89.2	42.3	6.8	0.16	
		6.0	P1-6	90.3	69.8	-	-	
		9.0	P1-5	92.3	97.3	38.9	0.40	
		12.0	P1-4	94.0	124.9	37.3	0.30	
	非液状化層上面	15.0	P1-3	94.7	152.4	34.3	0.23	
	非液状化層	17.5	P1-2	-	176.7	28.2	0.16	
模型	模型上面	-1.0	-	-	-	-	-	
模型直下 地盤	表層 (非液状化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液状化層	3.0	P2-7	89.2	56.9	5.5	0.10	
		6.0	P2-6	90.3	84.4	30.5	0.36	
		9.0	P2-5	92.3	112.0	38.2	0.34	
		12.0	P2-4	94.0	139.5	-	-	
	非液状化層上面	15.0	P2-3	94.7	167.1	39.2	0.23	
	非液状化層	17.5	P2-2	-	191.4	31.3	0.16	
	土層底面	20.0	P2-1	-	215.6	26.9	0.12	入力加速度

表 3.3-4(c) 最大過剰間隙水圧、水圧比の一覧 (主要動 5 波)

< CASE2' STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	飽和度 Sr (%)	過剰間隙水圧			備考
					有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層 (D=91.9%)	3.0	P1-7	92.9	43.1	7.6	0.18	
		6.0	P1-6	92.9	71.2	18.3	0.26	
		9.0	P1-5	93.7	99.2	26.4	0.27	
		12.0	P1-4	95.2	127.2	26.5	0.21	
	非液化化層上面	15.0	P1-3	95.8	155.2	25.1	0.16	
非液化化層	17.5	P1-2	-	179.4	22.8	0.13		
模型	模型上面	-1.0	-	-	-	-	-	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層	3.0	P2-7	92.9	57.8	5.7	0.10	
		6.0	P2-6	92.9	85.8	19.7	0.23	
		9.0	P2-5	93.7	113.8	32.5	0.29	
		12.0	P2-4	95.2	141.9	-	-	
	非液化化層上面	15.0	P2-3	95.8	169.9	28.6	0.17	
	非液化化層	17.5	P2-2	-	194.1	24.5	0.13	
土層底面	20.0	P2-1	-	218.3	22.5	0.10	入力加速度	

< CASE2' STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	飽和度 Sr (%)	過剰間隙水圧			備考
					有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層 (D=91.9%)	3.0	P1-7	92.9	43.1	19.9	0.46	
		6.0	P1-6	92.9	71.2	25.5	0.36	
		9.0	P1-5	93.7	99.2	25.5	0.26	
		12.0	P1-4	95.2	127.2	26.9	0.21	
	非液化化層上面	15.0	P1-3	95.8	155.2	28.1	0.18	
非液化化層	17.5	P1-2	-	179.4	25.8	0.14		
模型	模型上面	-1.0	-	-	-	-	-	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層	3.0	P2-7	92.9	57.8	23.2	0.40	
		6.0	P2-6	92.9	85.8	25.4	0.30	
		9.0	P2-5	93.7	113.8	25.2	0.22	
		12.0	P2-4	95.2	141.9	-	-	
	非液化化層上面	15.0	P2-3	95.8	169.9	25.8	0.15	
	非液化化層	17.5	P2-2	-	194.1	23.1	0.12	
土層底面	20.0	P2-1	-	218.3	21.5	0.10	入力加速度	

表 3.3-4(d) 最大過剰間隙水圧、水圧比の一覧 (主要動 5 波)

< CASE3 STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	飽和度 Sr (%)	過剰間隙水圧			備考
					有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層 (D=92.0%)	3.0	P1-7	88.6	43.2	5.1	0.12	
		6.0	P1-6	89.8	71.2	20.4	0.29	
		9.0	P1-5	94.6	99.3	54.4	0.55	
		12.0	P1-4	99.0	127.3	69.8	0.55	
	非液化化層上面	15.0	P1-3	99.8	155.4	72.0	0.46	
非液化化層	17.5	P1-2	-	179.7	71.8	0.40		
模型	模型上面	-1.0	-	-	-	-	-	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層	3.0	P2-7	88.6	57.8	3.9	0.07	
		6.0	P2-6	89.8	85.9	21.8	0.25	
		9.0	P2-5	94.6	113.9	30.4	0.27	
		12.0	P2-4	99.0	142.0	-	-	
	非液化化層上面	15.0	P2-3	99.8	170.0	97.7	0.57	
	非液化化層	17.5	P2-2	-	194.3	97.3	0.50	
土層底面	20.0	P2-1	-	218.6	91.5	0.42	入力加速度	

< CASE3 STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	飽和度 Sr (%)	過剰間隙水圧			備考
					有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層 (D=92.0%)	3.0	P1-7	88.6	43.2	18.1	0.42	
		6.0	P1-6	89.8	71.2	35.7	0.50	
		9.0	P1-5	94.6	99.3	59.7	0.60	
		12.0	P1-4	99.0	127.3	66.4	0.52	
	非液化化層上面	15.0	P1-3	99.8	155.4	-	-	
非液化化層	17.5	P1-2	-	179.7	68.0	0.38		
模型	模型上面	-1.0	-	-	-	-	-	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層	3.0	P2-7	88.6	57.8	15.3	0.26	
		6.0	P2-6	89.8	85.9	38.4	0.45	
		9.0	P2-5	94.6	113.9	37.6	0.33	
		12.0	P2-4	99.0	142.0	-	-	
	非液化化層上面	15.0	P2-3	99.8	170.0	86.9	0.51	
	非液化化層	17.5	P2-2	-	194.3	87.4	0.45	
土層底面	20.0	P2-1	-	218.6	82.5	0.38	入力加速度	

表 3.3-4(e) 最大過剰間隙水圧、水圧比の一覧 (主要動 5 波)

< CASE3 STEP3 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	水圧計	飽和度 Sr (%)	過剰間隙水圧			備考
					有効上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	水圧比	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層 (D=92.0%)	3.0	P1-7	81.0	43.2	3.1	0.07	
		6.0	P1-6	82.3	71.2	16.1	0.23	
		9.0	P1-5	85.7	99.3	40.7	0.41	
		12.0	P1-4	88.9	127.3	26.0	0.20	
	非液化化層上面	15.0	P1-3	90.0	155.4	-	-	
	非液化化層	17.5	P1-2	-	179.7	16.1	0.09	
模型	模型上面	-1.0	-	-	-	-	-	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	-	-	-	-	-	
	液化化層	3.0	P2-7	81.0	57.8	4.0	0.07	
		6.0	P2-6	82.3	85.9	12.8	0.15	
		9.0	P2-5	85.7	113.9	27.0	0.24	
		12.0	P2-4	88.9	142.0	-	-	
	非液化化層上面	15.0	P2-3	90.0	170.0	28.7	0.17	
	非液化化層	17.5	P2-2	-	194.3	23.8	0.12	
	土層底面	20.0	P2-1	-	218.6	22.2	0.10	入力加速度

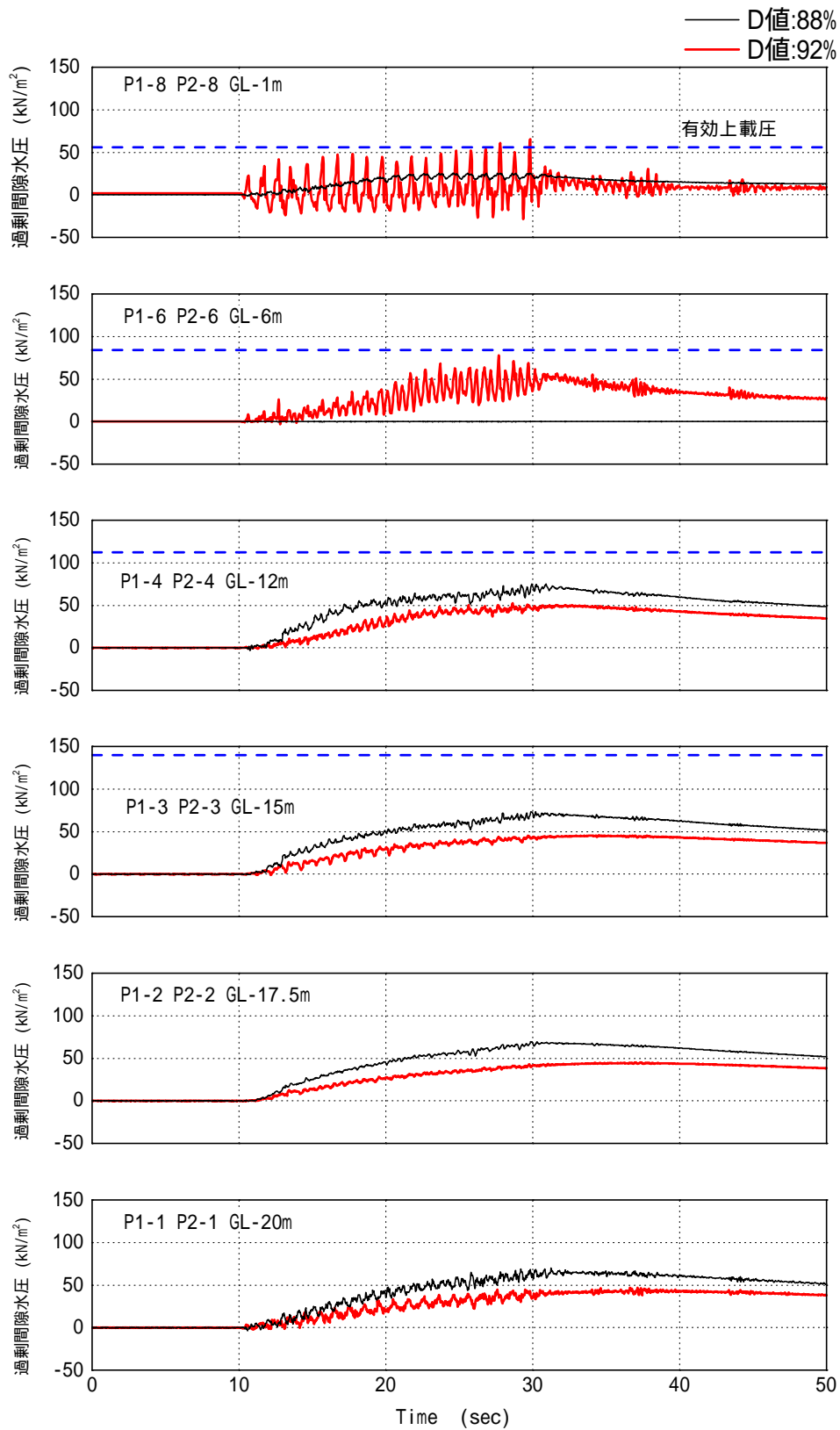


図 3.3-5(a) 過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE0-1、CASE0-2)STEP1

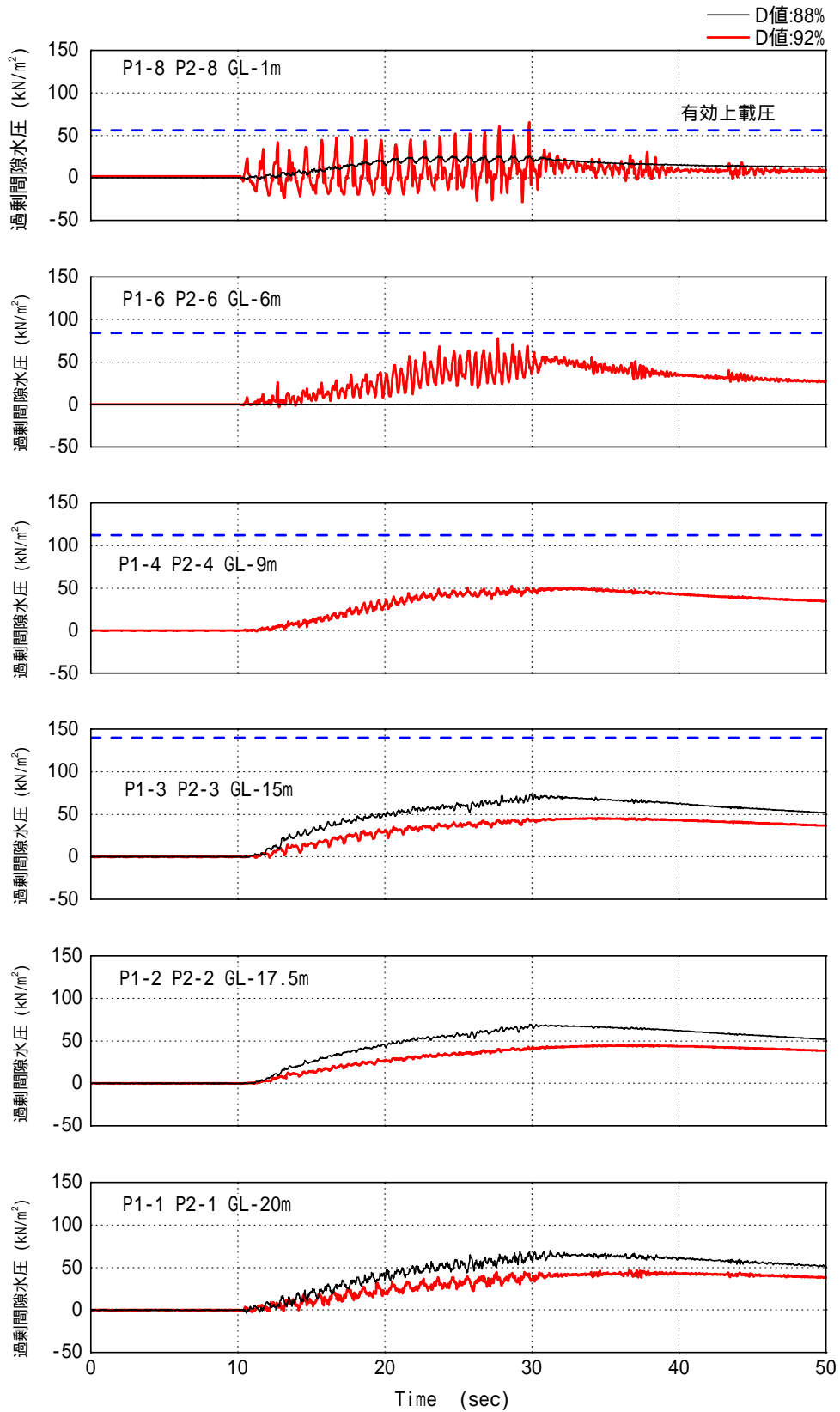


図 3.3-5(a) 過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE0-1、CASE0-2)STEP2

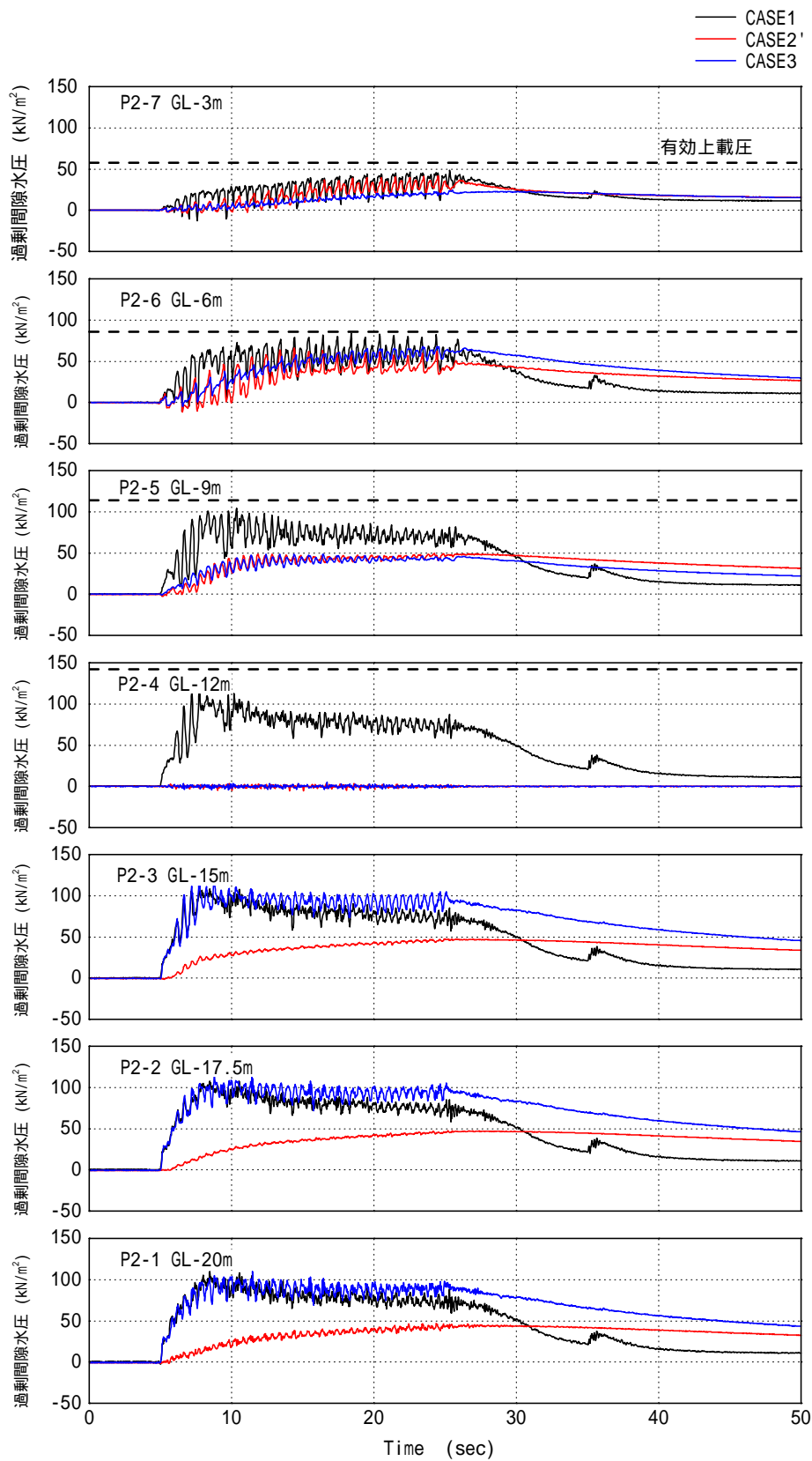


図 3.3-6(a) 過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE1、CASE2、CASE3)STEP1

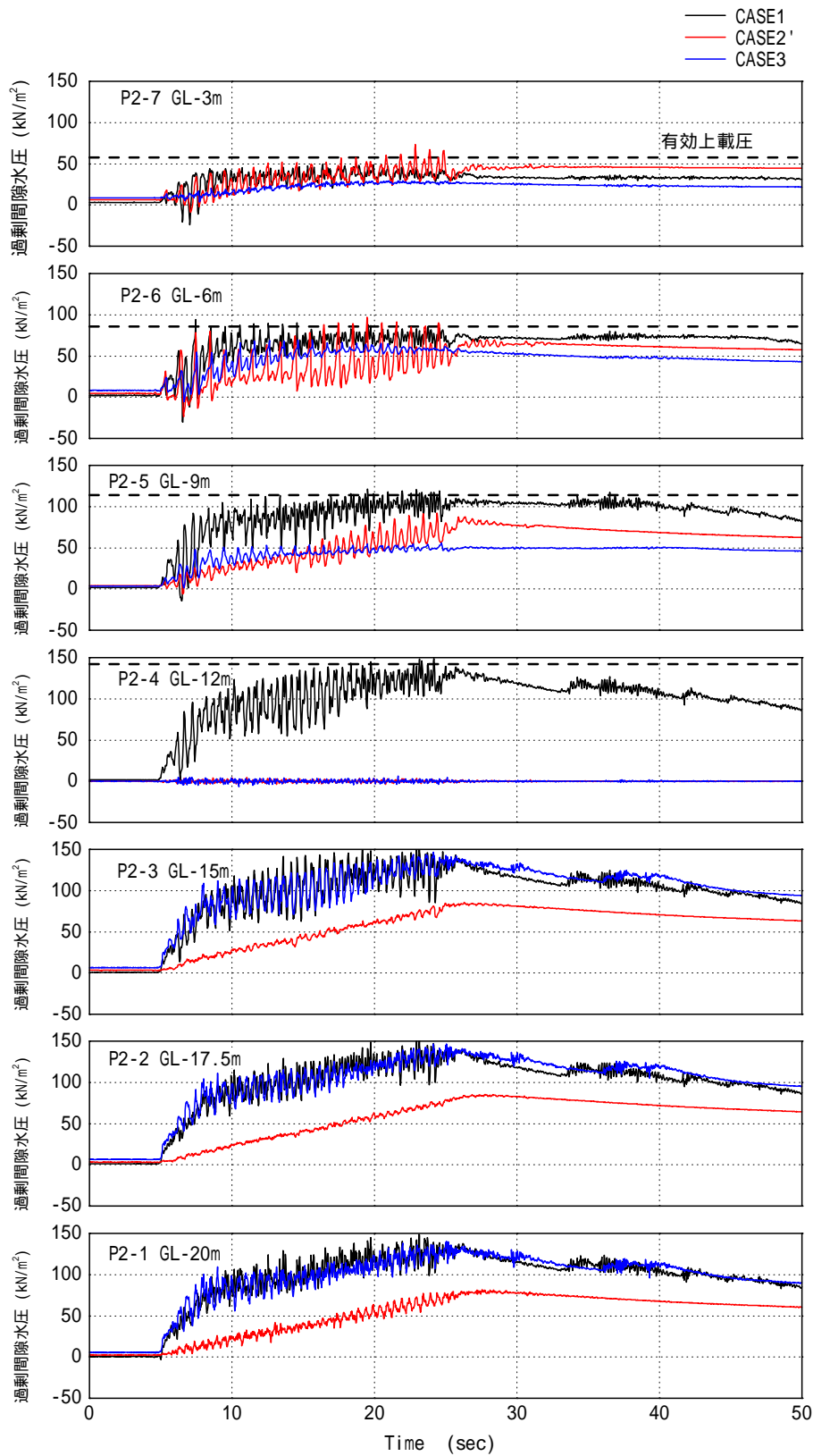


図 3.3-6(b) 過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE1、CASE2、CASE3)STEP2



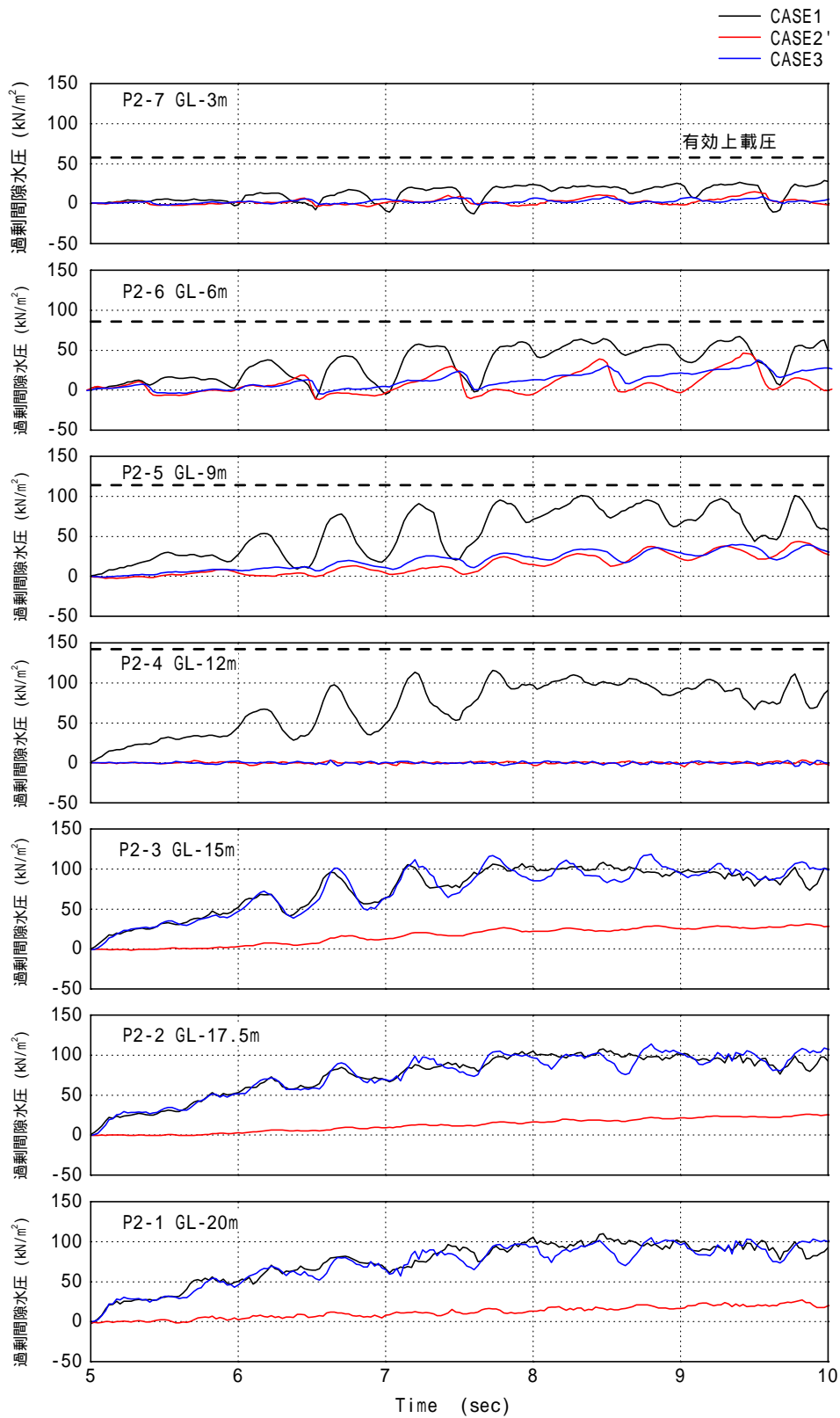


図 3.3-7(a) 過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE1、CASE2、CASE3)STEP1 主要動 5 波

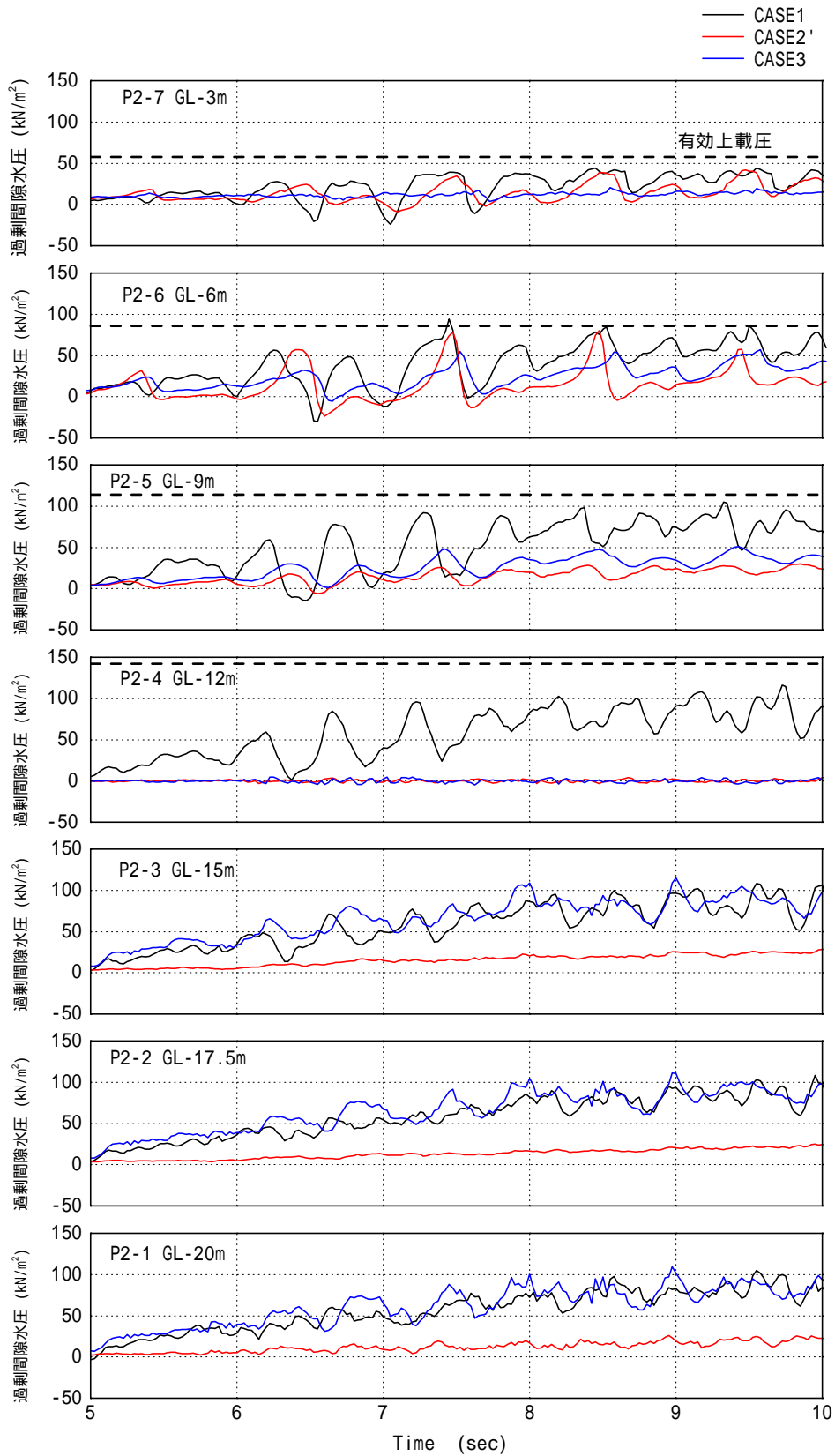


図 3.3-7(b) 過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE1、CASE2、CASE3)STEP2 主要動 5 波

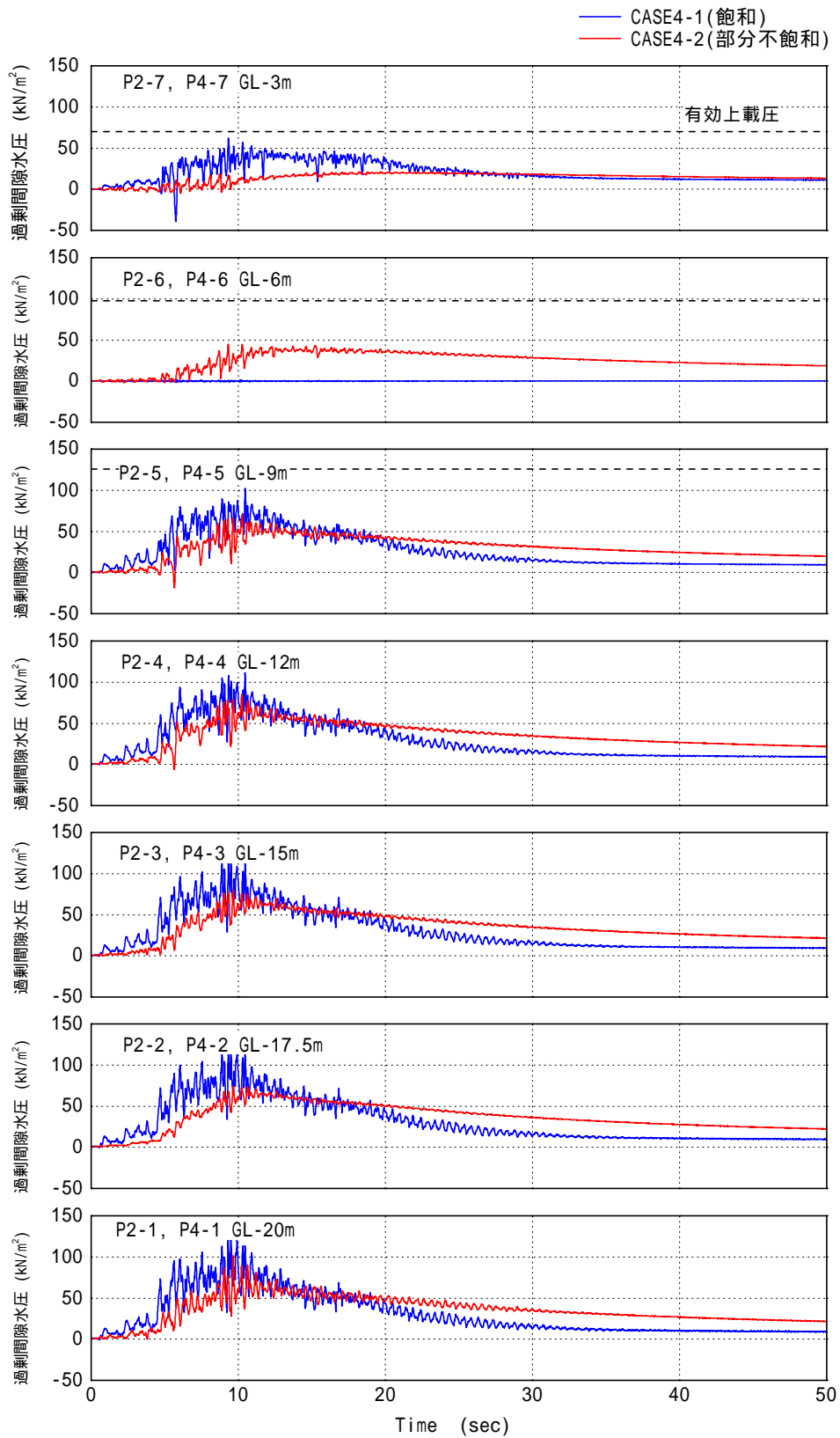


図 3.3-8(a) CASE4 STEP1 過剰間隙水圧時刻歴(飽和と部分不飽和の比較)

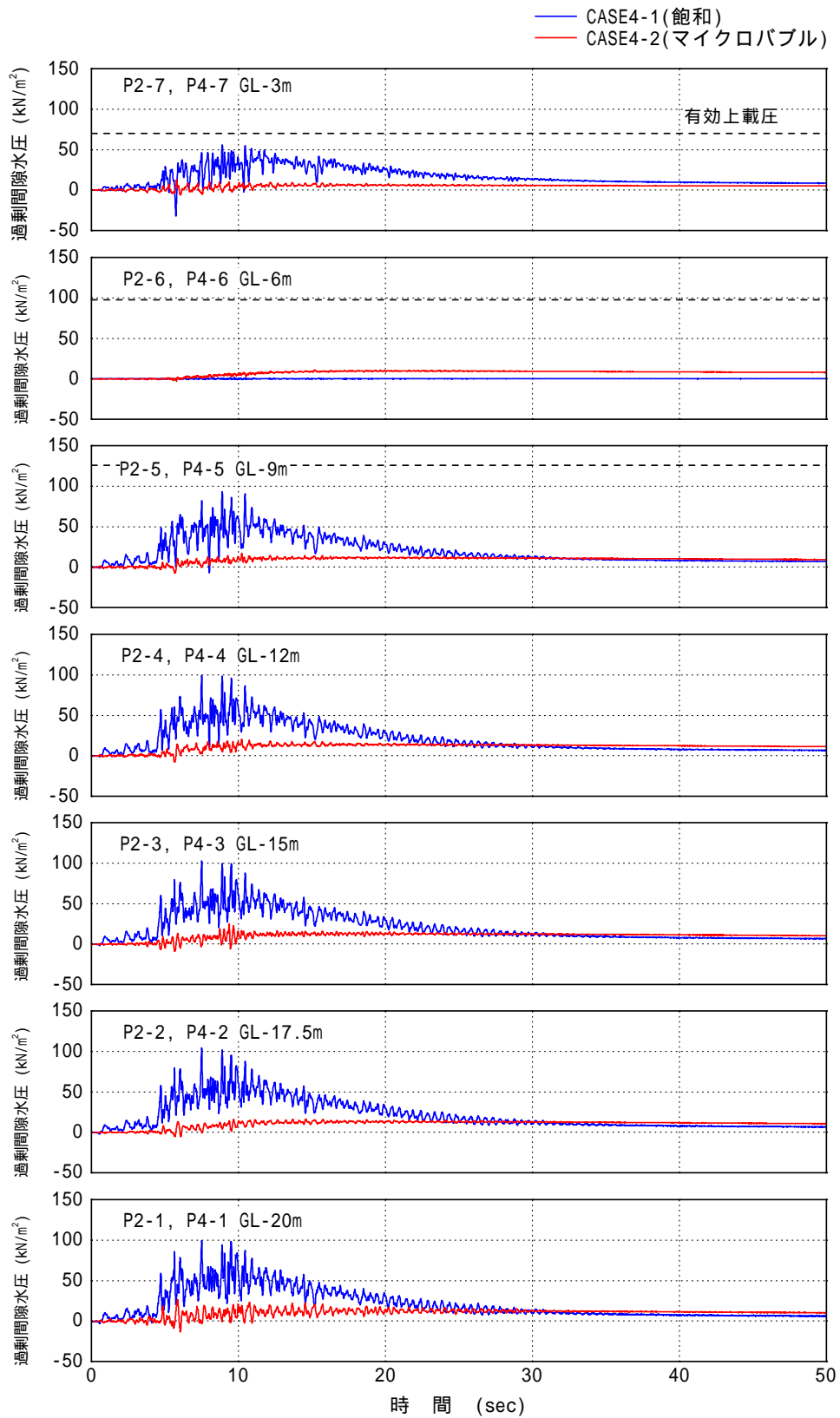
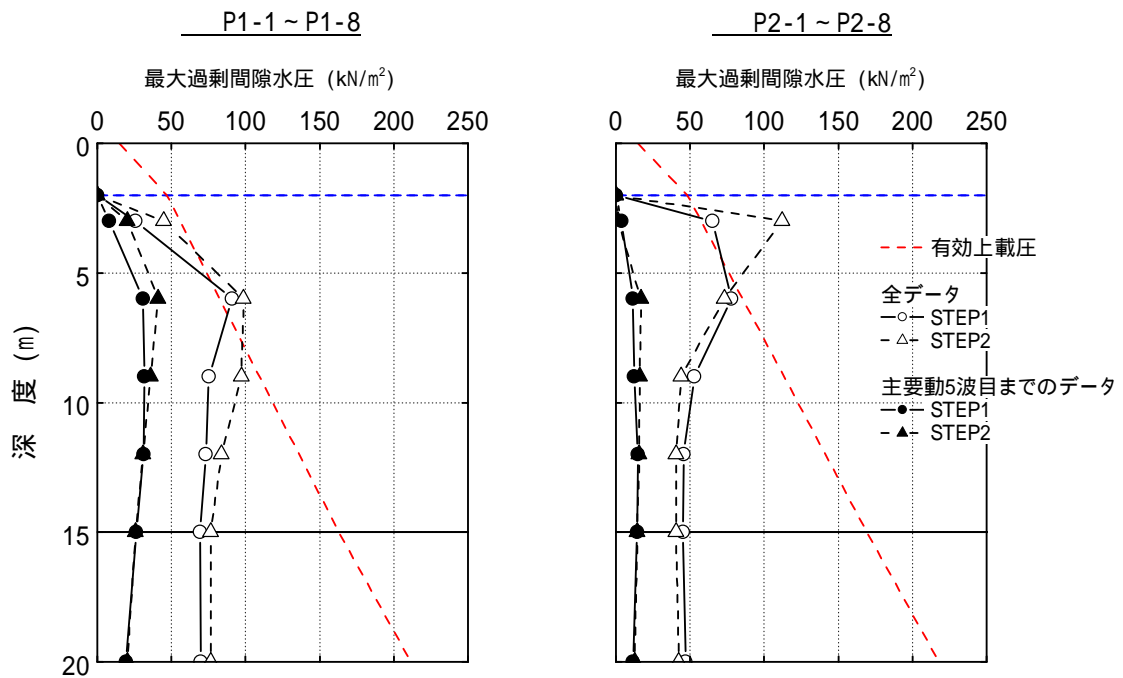
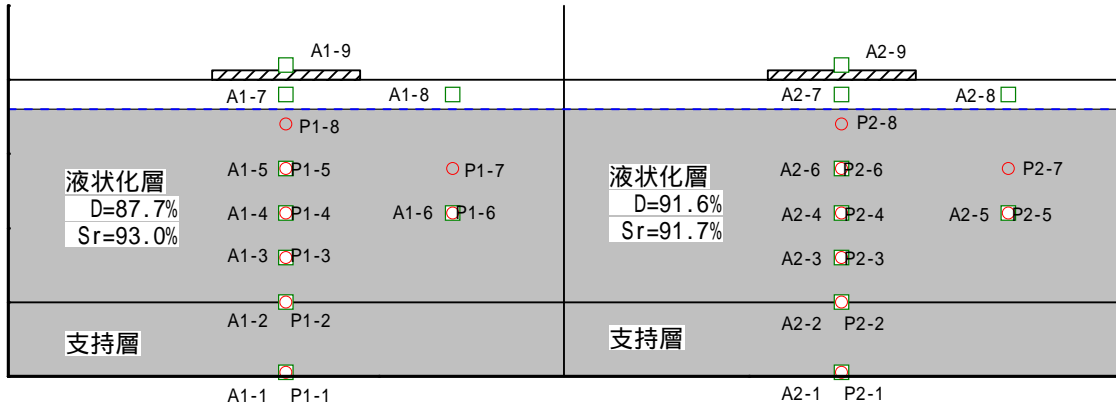


図 3.3-8(b) CASE4 STEP2 過剰間隙水圧時刻歴(飽和とマイクロバブルの比較)

□ 加速度計  
○ 間隙水圧計

CASE0

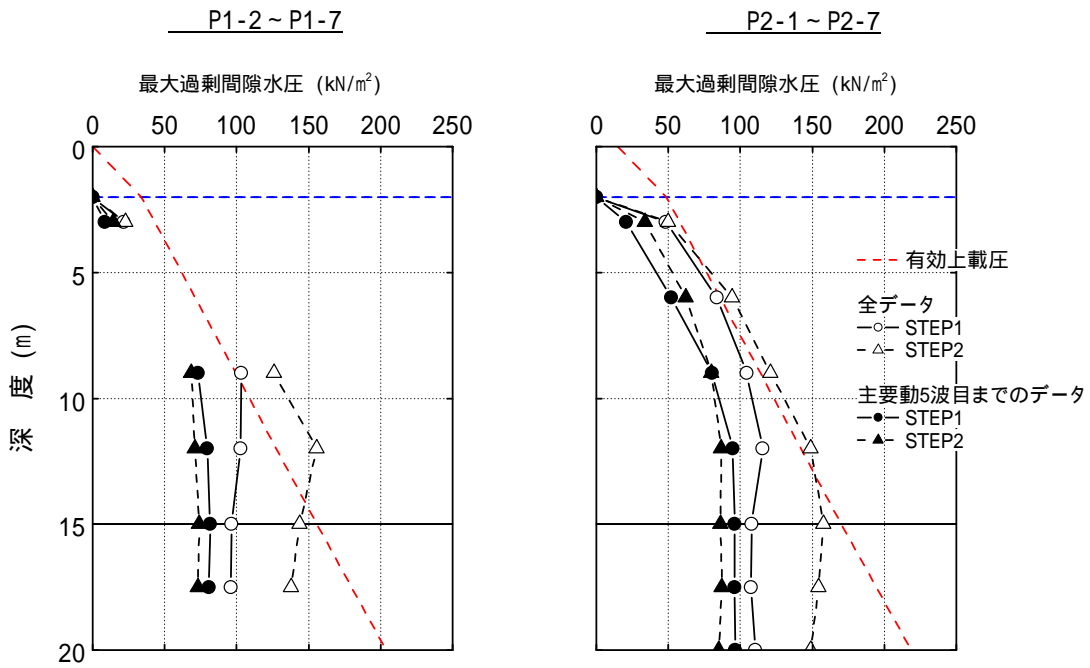
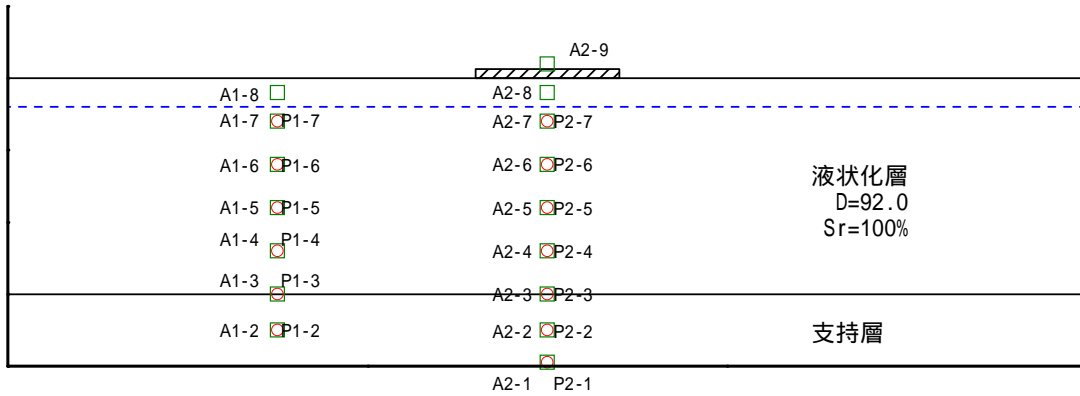


主要動5波目までの最大過剰間隙水圧は、スムージング処理を施したデータより算出。

図 3.3-9(a) 最大過剰間隙水圧および最大応答加速度の深度分布

○ 間隙水圧計  
□ 加速度計

CASE1

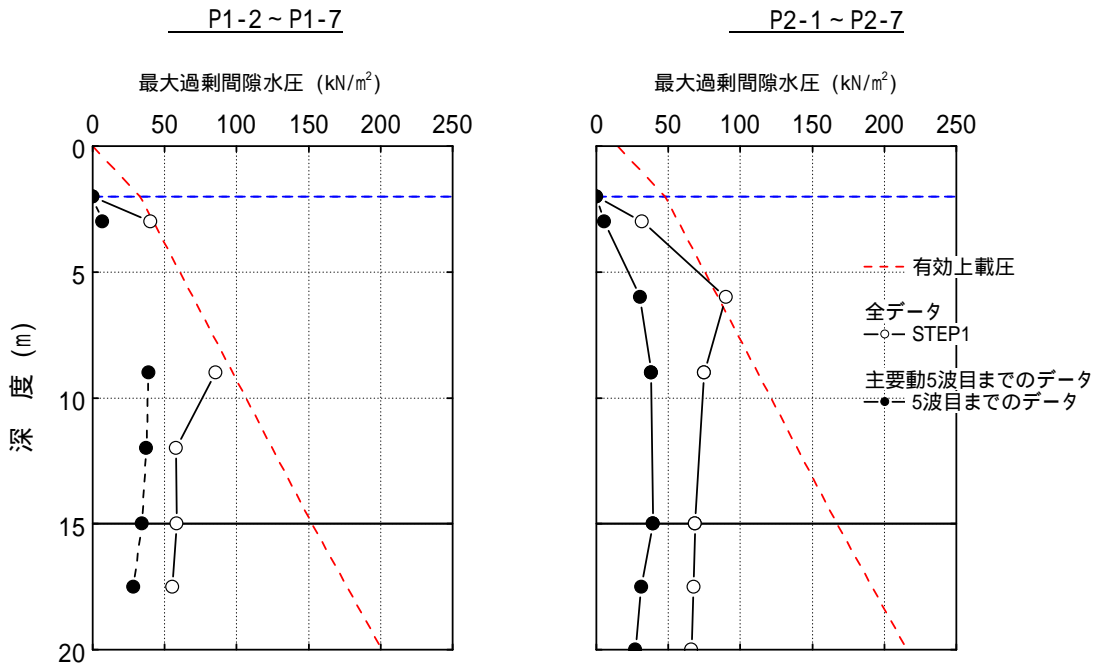
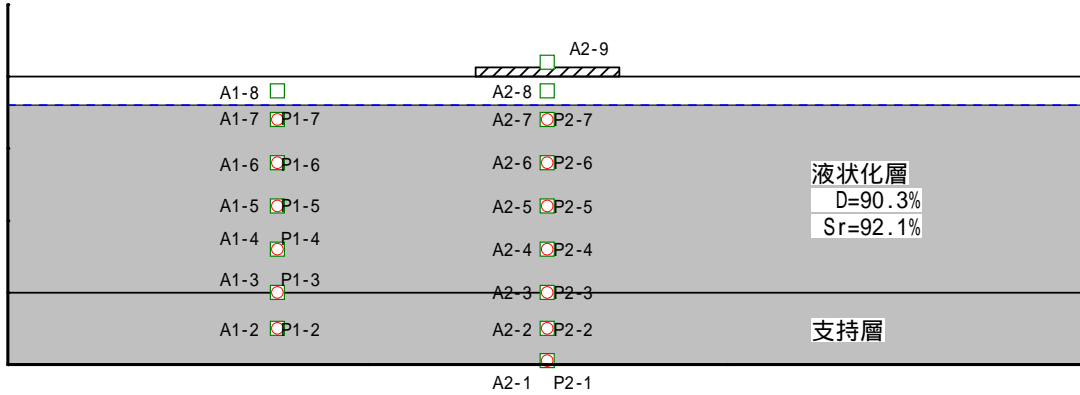


主要動5波目までの最大過剰間隙水圧は、スムージング処理を施したデータより算出

図 3.3-9(b) 最大過剰間隙水圧および最大応答加速度の深度分布

□ 加速度計  
○ 間隙水圧計

CASE2

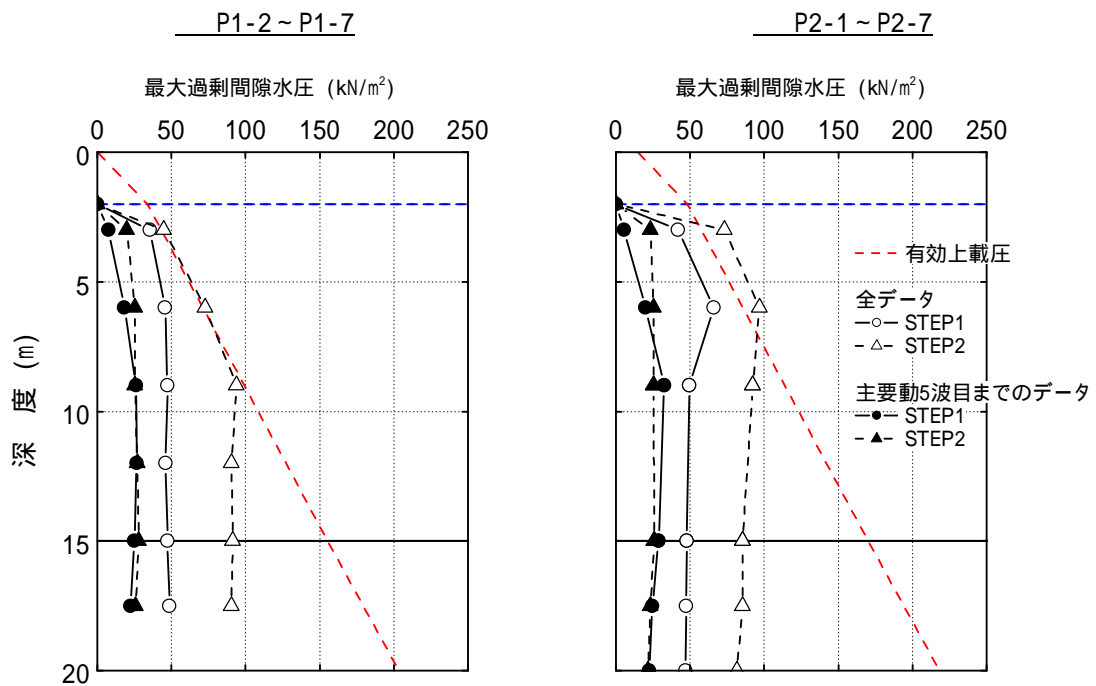
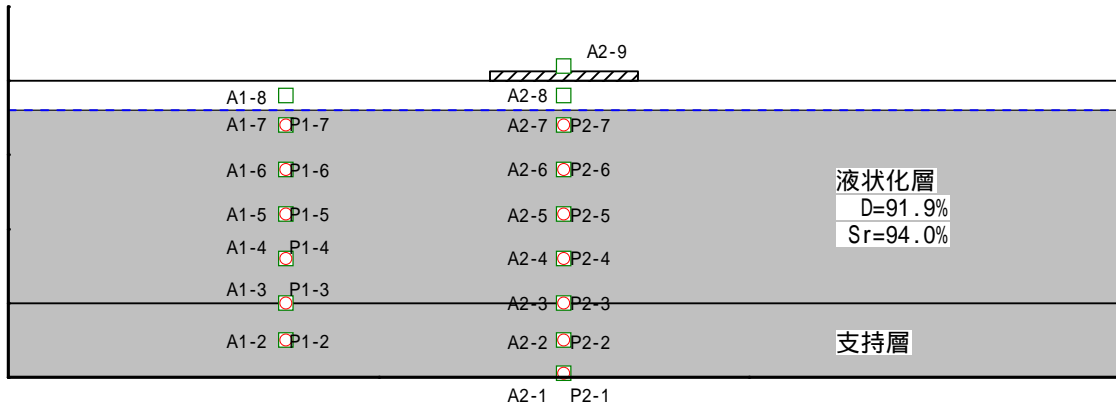


主要動5波目までの最大過剰間隙水圧は、スムージング処理を施したデータより算出

図 3.3-9(c) 最大過剰間隙水圧および最大応答加速度の深度分布

□ 加速度計  
○ 間隙水圧計

CASE2'



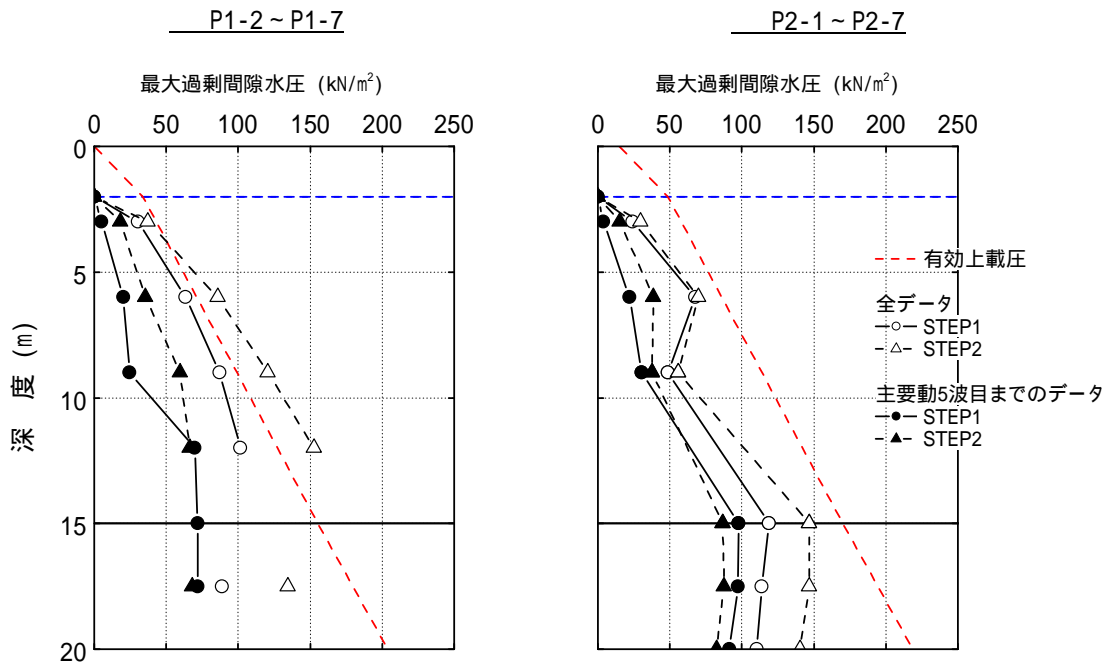
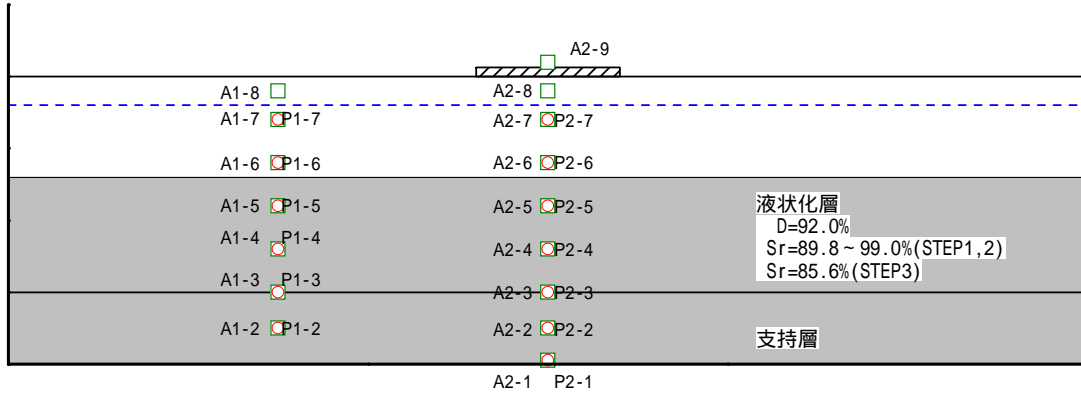
主要動5波目までの最大過剰間隙水圧は、スムージング処理を施したデータより算出。

図 3.3-9(d) 最大過剰間隙水圧および最大応答加速度の深度分布



□ 加速度計  
○ 間隙水圧計

CASE3



主要動5波目までの最大過剰間隙水圧は、スムージング処理を施したデータより算出。

図 3.3-9(e) 最大過剰間隙水圧および最大応答加速度の深度分布

□ 加速度計  
○ 間隙水圧計

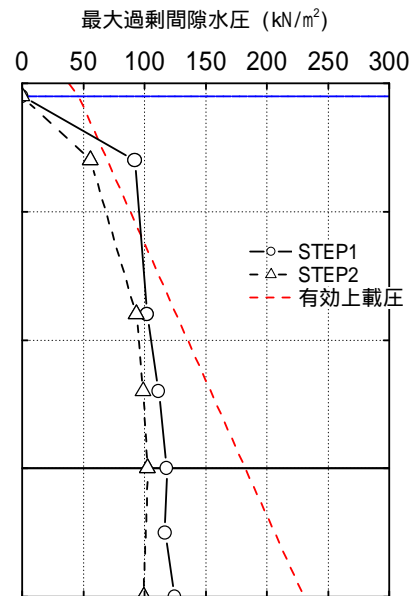
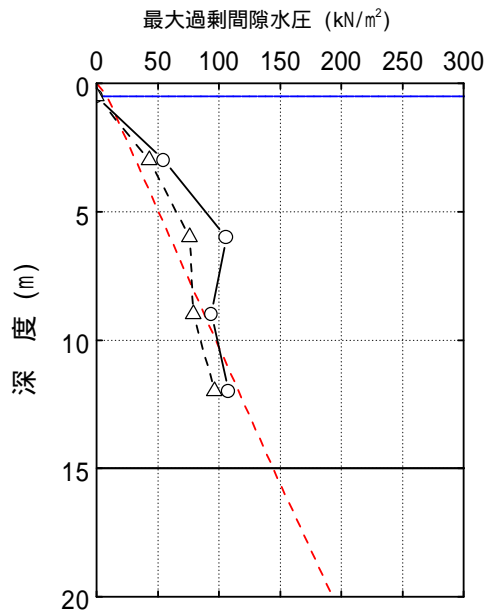
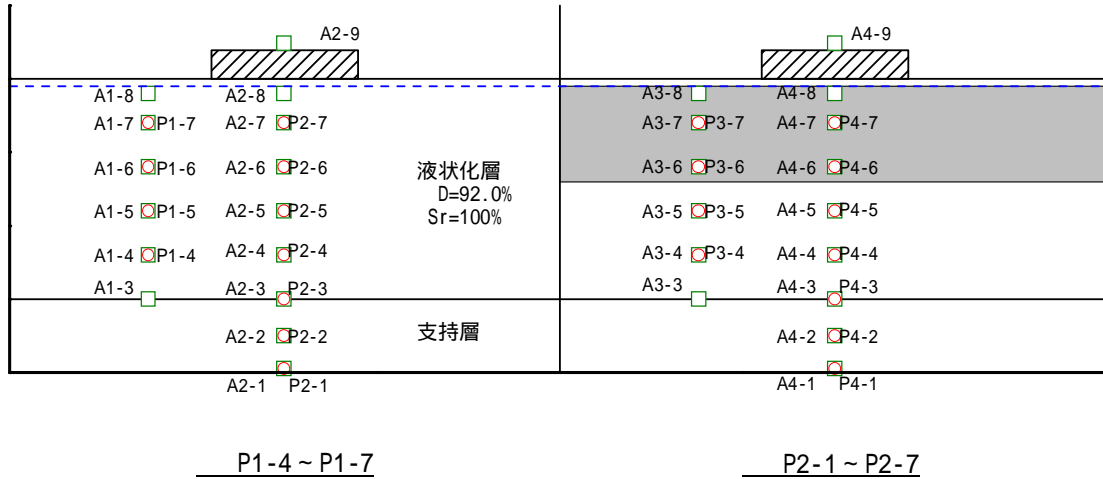
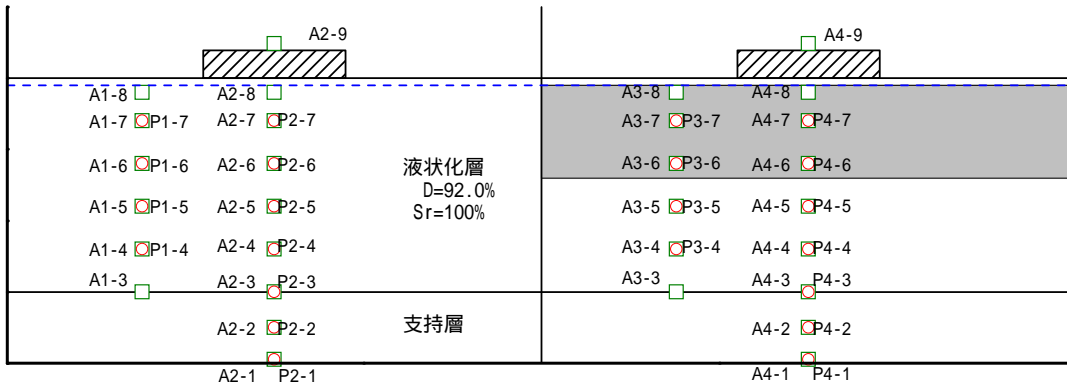


図 3.3-9(f) 最大過剰間隙水圧および最大応答加速度の深度分布

□ 加速度計  
○ 間隙水圧計



P1-4 ~ P1-7

P2-1 ~ P2-7

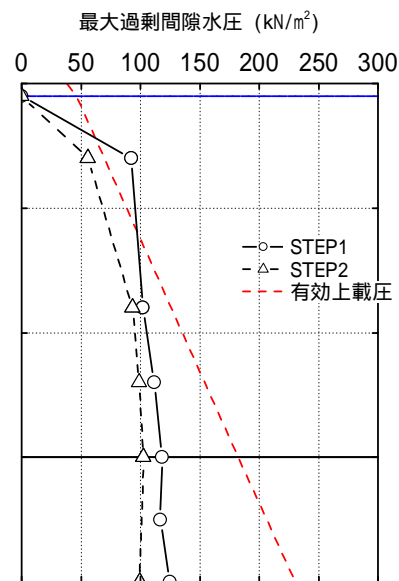
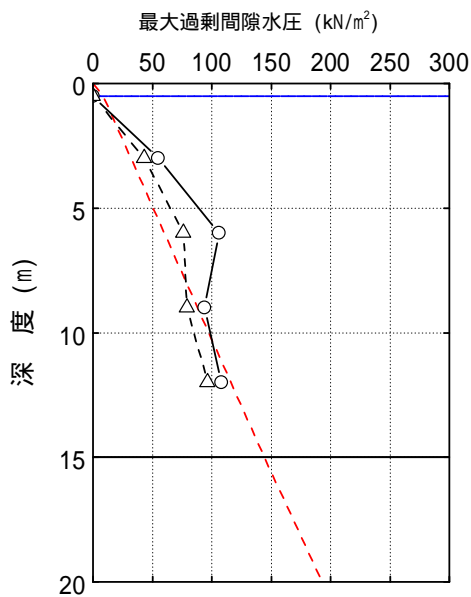


図 3.3-9(g) 最大過剰間隙水圧および最大応答加速度の深度分布

### 3.3.3 応答加速度特性

最大・最小加速度の結果一覧を表 3.3-5(a)および表 3.3-5(b)に示す。

また、CASE1～3 に対し、以下のような方法で算出した加振初期(主要動 5 波)の最大過剰間隙水圧、水圧比、最小加速度および最大加速度の一覧を表 3.3-6(a)～(e)に示す。

#### 主要動 5 波目までの整理方法

< 応答加速度 >

- ・入力波形の初めの 5 波に相当する、最大値と最小値を抽出しデータ整理を行う。

図 3.3-10(a)および図 3.3-10(b)に加速度の時刻歴波形(CASE0-1 と CASE0-2 の比較)を示す。

図 3.3-11(a)および図 3.3-11(b)に加速度の時刻歴波形(CASE1 と CASE2'の比較)を示す。

図 3.3-12(a)および図 3.3-12(b)に加速度の時刻歴波形(CASE1、CASE2'および CASE3 の比較)を示す。図 3.3-13(a)および図 3.3-13(b)に加速度の時刻歴波形(CASE4)を示す。

図 3.3-11(a)および図 3.3-11(b)より、GL-3mおよび GL-6m で CASE1 が加振直後から加速度が急激に増加したのに対し、CASE2 は加振後半で加速度が増加した。また、土槽中層での加速度は STEP1 に比べ STEP1 の方が液状化により値が大きくなっているが、基礎上の加速度は加振後半で STEP1 よりも STEP2 の方が逆に小さくなり、液状化により軟化して土槽上部に振動が伝わらなくなった結果、加速度が小さくなったと推測される。

図 3.3-12(a)及び図 3.3-12(b)より、水平加速度は GL-9m において CASE1、CASE3 とともに加振後すぐに急激に上昇し液状化時に見られるスパイク状の波形が現れたが、CASE2 でも加振後半では加速度増加が見られた。地表面の基礎上の加速度は加振直後では 3 ケース共に同様の挙動を示しているが、加振後半では CASE1 と CASE3 の値は CASE2 のそれよりも小さくなっていることが分かる。これは土槽下部が液状化により軟化して土槽上部に振動が伝わらなくなった結果と考えられる。

表 3.3-5(a) 最大・最小加速度の結果一覧

< STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	CASE1 (D=92.0%, Sr=100%)				CASE2 (D=90.3%, Sr=92.1%)				CASE2' (D=91.9%, Sr=94.0%)				CASE3 (D=92.0%, Sr=89.8 ~ 99.0%)				CASE3 STEP3 (参考)				備考
				最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-517	799	1.16	2.20	-422	427	0.94	1.18	-543	531	1.30	1.66	-484	498	1.11	1.48	-445	553	0.91	1.33	
	液化化層	3.0	A1-7	-748	1573	1.68	4.33	-419	617	0.93	1.71	-1114	1523	2.66	4.76	-375	1010	0.86	3.01	-449	801	0.92	1.93	
		6.0	A1-6	-869	1464	1.95	4.03	-526	388	1.17	1.07	-595	402	1.42	1.26	-1204	1508	2.76	4.49	-1127	1821	2.30	4.38	
		9.0	A1-5	-462	593	1.03	1.63	-449	327	1.00	0.91	-426	352	1.02	1.10	-629	552	1.44	1.64	-895	718	1.83	1.73	
		12.0	A1-4	-2421	84	5.43	0.23	-404	364	0.90	1.01	-405	348	0.97	1.09	-464	4213	1.06	12.54	-559	4116	1.14	9.89	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	-433	481	0.97	1.32	-484	475	1.08	1.32	-467	359	1.11	1.12	-437	404	1.00	1.20	-525	499	1.07	1.20	
	非液化化層	17.5	A1-2	-444	456	0.99	1.25	-423	430	0.94	1.19	-452	353	1.08	1.10	-446	415	1.02	1.24	-497	507	1.02	1.22	
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-431	501	0.97	1.38	-409	393	0.91	1.09	-475	433	1.13	1.35	-403	381	0.92	1.13	-442	449	0.90	1.08	
模型直下地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-515	588	1.15	1.62	-430	378	0.96	1.05	-441	440	1.05	1.38	-428	394	0.98	1.17	-435	439	0.89	1.06	
	液化化層 (D=92.0%)	3.0	A2-7	-882	1011	1.98	2.78	-463	394	1.03	1.09	-825	552	1.97	1.73	-449	426	1.03	1.27	-459	464	0.94	1.12	
		6.0	A2-6	-1101	1116	2.47	3.07	-1021	894	2.28	2.48	-443	441	1.06	1.38	-931	859	2.14	2.56	-1340	1316	2.74	3.16	
		9.0	A2-5	-710	591	1.59	1.63	-364	359	0.81	0.99	-371	365	0.89	1.14	-925	1061	2.12	3.16	-945	925	1.93	2.22	
		12.0	A2-4	-412	484	0.92	1.33	-379	350	0.85	0.97	-373	332	0.89	1.04	-540	443	1.24	1.32	-595	562	1.22	1.35	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	-413	411	0.92	1.13	-436	445	0.97	1.23	-420	340	1.00	1.06	-426	376	0.98	1.12	-512	509	1.05	1.22	
	非液化化層	17.5	A2-2	-419	371	0.94	1.02	-2417	1562	5.40	4.32	-421	330	1.00	1.03	-417	359	0.96	1.07	-470	480	0.96	1.15	
土層底面	20.0	A2-1	-446	364	1.00	1.00	-448	361	1.00	1.00	-419	320	1.00	1.00	-436	336	1.00	1.00	-489	416	1.00	1.00	入力加速度	

< STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	CASE1 (D=92.0%, Sr=100%)				CASE2 (D=90.3%, Sr=92.1100%)				CASE2' (D=91.9%, Sr=94.0%)				CASE3 (D=92.0%, Sr=89.8 ~ 99.0%)				CASE3 STEP3 (参考)				備考
				最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-910	944	1.61	1.82	-	-	-	-	-1054	1032	1.73	2.03	-502	617	0.99	1.37					
	液化化層 (D=90.3%)	3.0	A1-7	-896	2145	1.59	4.13	-	-	-	-	-1981	2084	3.25	4.10	-425	1373	0.84	3.06					
		6.0	A1-6	-2269	2935	4.02	5.64	-	-	-	-	-1957	2813	3.21	5.54	-1846	3059	3.65	6.81					
		9.0	A1-5	-2772	2990	4.91	5.75	-	-	-	-	-938	1844	1.54	3.63	-3356	3039	6.63	6.77					
		12.0	A1-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-676	813	1.11	1.60	-830	4203	1.64	9.36					
	非液化化層上面	15.0	A1-3	-599	646	1.06	1.24	-	-	-	-	-645	723	1.06	1.42	-568	551	1.12	1.23					
非液化化層	17.5	A1-2	-546	685	0.97	1.32	-	-	-	-	-638	589	1.05	1.16	-517	544	1.02	1.21						
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-633	581	1.12	1.12	-	-	-	-	-560	544	0.92	1.07	-407	361	0.80	0.80					
模型直下地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-780	1020	1.38	1.96	-	-	-	-	-1235	1038	2.03	2.04	-446	361	0.88	0.80					
	液化化層	3.0	A2-7	-901	1059	1.60	2.04	-	-	-	-	-1624	2163	2.67	4.26	-443	418	0.88	0.93					
		6.0	A2-6	-1738	1960	3.08	3.77	-	-	-	-	-1910	2053	3.14	4.04	-1604	1322	3.17	2.94					
		9.0	A2-5	-2310	2560	4.10	4.92	-	-	-	-	-1033	1326	1.70	2.61	-2084	2277	4.12	5.07					
		12.0	A2-4	-1495	1670	2.65	3.21	-	-	-	-	-620	743	1.02	1.46	-1913	2115	3.78	4.71					
	非液化化層上面	15.0	A2-3	-669	694	1.19	1.33	-	-	-	-	-619	636	1.02	1.25	-542	612	1.07	1.36					
	非液化化層	17.5	A2-2	-558	583	0.99	1.12	-	-	-	-	-583	594	0.96	1.17	-475	550	0.94	1.22					
土層底面	20.0	A2-1	-564	520	1.00	1.00	-	-	-	-	-609	508	1.00	1.00	-506	449	1.00	1.00					入力加速度	

表 3.3-5(b) 最大・最小加速度の結果一覧

< STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	CASE4-1 (D=92.0%, Sr=100%)				CASE4-2 (D=92.1%, Sr=91.1 ~ 99.6%)				備考
				最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-501	739	0.95	1.54	-669	370	0.94	1.18	
	液化化層	3.0	A1-7	-453	877	0.86	1.83	-568	411	0.93	1.71	
		6.0	A1-6	-418	1009	0.80	2.11	-630	481	1.17	1.07	
		9.0	A1-5	-415	563	0.79	1.18	-610	528	1.00	0.91	
		12.0	A1-4	-440	402	0.84	0.84	-562	465	0.90	1.01	
非液化化層上面	15.0	A1-3	-529	537	1.01	1.12	-525	517	1.08	1.32		
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-424	317	0.81	0.66	-433	405	0.91	1.09	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-591	401	1.13	0.84	-472	367	0.96	1.05	
	液化化層 (D=92.0%)	3.0	A2-7	-587	489	1.12	1.02	-520	331	1.03	1.09	
		6.0	A2-6	-487	510	0.93	1.06	-573	356	2.28	2.48	
		9.0	A2-5	-440	524	0.84	1.09	-488	513	0.81	0.99	
		12.0	A2-4	-460	437	0.88	0.91	-605	457	0.85	0.97	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	-564	546	1.07	1.14	-583	510	0.97	1.23	
	非液化化層	17.5	A2-2	-524	501	1.00	1.05	-545	43	5.40	4.32	
土層底面	20.0	A2-1	-525	479	1.00	1.00	-584	464	1.00	1.00	入力加速度	

< STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	CASE4-1 (D=92.0%, Sr=100%)				CASE4-2 (D=92.1%, Sr=86.3 ~ 93.4%)				備考
				最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-665	848	1.13	2.40	-784	431	1.22	1.15	
	液化化層 (D=90.3%)	3.0	A1-7	-585	790	0.99	2.23	-615	391	0.95	1.04	
		6.0	A1-6	-437	493	0.74	1.39	-682	403	1.06	1.07	
		9.0	A1-5	-484	408	0.82	1.15	-615	400	0.95	1.07	
		12.0	A1-4	-453	337	0.77	0.95	-521	386	0.81	1.03	
非液化化層上面	15.0	A1-3	-600	445	1.02	1.26	-579	427	0.90	1.14		
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-420	492	0.71	1.39	-536	502	0.83	1.34	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-514	424	0.87	1.20	-448	461	0.70	1.23	
	液化化層	3.0	A2-7	-532	553	0.90	1.56	-487	413	0.76	1.10	
		6.0	A2-6	-507	417	0.86	1.18	-532	399	0.83	1.06	
		9.0	A2-5	-409	378	0.70	1.07	-499	463	0.77	1.23	
		12.0	A2-4	-519	384	0.88	1.08	-474	397	0.74	1.06	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	-586	42	1.00	0.12	-548	424	0.85	1.13	
	非液化化層	17.5	A2-2	-591	425	1.01	1.20	-538	408	0.84	1.09	
土層底面	20.0	A2-1	-588	354	1.00	1.00	-644	375	1.00	1.00	入力加速度	

表 3.3-6(a) 最小加速度および最大加速度一覧 (主要動 5 波)

< CASE1 STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	飽和度 Sr (%)	応答加速度				備考
					最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-	-450	662	1.01	1.92	
	液化化層	3.0	A1-7	100.0	-431	779	0.97	2.26	
		6.0	A1-6		-469	931	1.05	2.71	
		9.0	A1-5		-389	593	0.87	1.72	
		12.0	A1-4		-	-	-	-	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	-433	368	0.97	1.07		
非液化化層	17.5	A1-2	-444	377	1.00	1.10			
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-	-431	431	0.97	1.25	
模型直下地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	100.0	-503	514	1.13	1.49	
	液化化層 (D=92.0%)	3.0	A2-7		-504	554	1.13	1.61	
		6.0	A2-6		-522	663	1.17	1.93	
		9.0	A2-5		-710	591	1.59	1.72	
		12.0	A2-4		-364	484	0.82	1.41	
	非液化化層上面	15.0	A2-3		-413	371	0.93	1.08	
	非液化化層	17.5	A2-2		-419	356	0.94	1.03	
	土層底面	20.0	A2-1		-446	344	1.00	1.00	入力加速度

< CASE1 STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	飽和度 Sr (%)	応答加速度				備考
					最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-	-910	944	1.61	2.00	
	液化化層 (D=90.3%)	3.0	A1-7	100.0	-896	2145	1.59	4.55	
		6.0	A1-6		-2234	2655	3.96	5.64	
		9.0	A1-5		-990	865	1.76	1.84	
		12.0	A1-4		-	-	-	-	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	-559	617	0.99	1.31		
非液化化層	17.5	A1-2	-521	591	0.92	1.25			
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-	-633	581	1.12	1.23	
模型直下地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	100.0	-780	1020	1.38	2.17	
	液化化層	3.0	A2-7		-807	1659	1.43	3.52	
		6.0	A2-6		-1350	1960	2.39	4.16	
		9.0	A2-5		-1587	1342	2.81	2.85	
		12.0	A2-4		-706	689	1.25	1.46	
	非液化化層上面	15.0	A2-3		-524	570	0.93	1.21	
	非液化化層	17.5	A2-2		-521	529	0.92	1.12	
	土層底面	20.0	A2-1		-564	471	1.00	1.00	入力加速度

表 3.3-6(b) 最小加速度および最大加速度一覧 (主要動 5 波)

< CASE2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	飽和度 Sr (%)	応答加速度				備考
					最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-	-422	353	0.94	0.98	
	液化化層 (D=90.3%)	3.0	A1-7	89.2	-419	340	0.94	0.94	
		6.0	A1-6	90.3	-396	301	0.88	0.83	
		9.0	A1-5	92.3	-370	324	0.83	0.90	
		12.0	A1-4	94.0	-404	364	0.90	1.01	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	94.7	-484	45	1.08	0.12	
	非液化化層	17.5	A1-2	-	-423	430	0.94	1.19	
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-	-409	393	0.91	1.09	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-	-430	378	0.96	1.05	
	液化化層	3.0	A2-7	89.2	-417	394	0.93	1.09	
		6.0	A2-6	90.3	-361	399	0.81	1.11	
		9.0	A2-5	92.3	-355	322	0.79	0.89	
		12.0	A2-4	94.0	-325	350	0.73	0.97	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	94.7	-436	445	0.97	1.23	
	非液化化層	17.5	A2-2	-	-2417	998	5.40	2.76	
	土層底面	20.0	A2-1	-	-448	361	1.00	1.00	入力加速度



表 3.3-6(c) 最小加速度および最大加速度一覧 (主要動 5 波)

< CASE2' STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	飽和度 Sr (%)	応答加速度				備考
					最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-	-469	414	1.12	1.29	
	液化化層 (D=91.9%)	3.0	A1-7	92.9	-443	376	1.06	1.18	
		6.0	A1-6	92.9	-404	342	0.96	1.07	
		9.0	A1-5	93.7	-388	352	0.93	1.10	
		12.0	A1-4	95.2	-405	342	0.97	1.07	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	95.8	-467	359	1.11	1.12	
非液化化層	17.5	A1-2	-	-452	353	1.08	1.10		
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-	-442	433	1.05	1.35	
模型直下地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-	-441	440	1.05	1.38	
	液化化層	3.0	A2-7	92.9	-472	443	1.13	1.38	
		6.0	A2-6	92.9	-425	411	1.01	1.28	
		9.0	A2-5	93.7	-329	365	0.79	1.14	
		12.0	A2-4	95.2	-349	332	0.83	1.04	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	95.8	-420	340	1.00	1.06	
	非液化化層	17.5	A2-2	-	-421	330	1.00	1.03	
土層底面	20.0	A2-1	-	-419	320	1.00	1.00	入力加速度	

< CASE2' STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	飽和度 Sr (%)	応答加速度				備考
					最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-	-798	927	1.49	1.82	
	液化化層 (D=91.9%)	3.0	A1-7	92.9	-1107	2043	2.07	4.02	
		6.0	A1-6	92.9	-667	667	1.24	1.31	
		9.0	A1-5	93.7	-630	583	1.18	1.15	
		12.0	A1-4	95.2	-570	612	1.06	1.20	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	95.8	-547	692	1.02	1.36	
非液化化層	17.5	A1-2	-	-539	589	1.01	1.16		
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-	-509	523	0.95	1.03	
模型直下地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-	-522	490	0.97	0.96	
	液化化層	3.0	A2-7	92.9	-713	563	1.33	1.11	
		6.0	A2-6	92.9	-584	633	1.09	1.25	
		9.0	A2-5	93.7	-471	550	0.88	1.08	
		12.0	A2-4	95.2	-489	541	0.91	1.06	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	95.8	-485	636	0.90	1.25	
	非液化化層	17.5	A2-2	-	-471	594	0.88	1.17	
土層底面	20.0	A2-1	-	-536	508	1.00	1.00	入力加速度	

表 3.3-6(d) 最小加速度および最大加速度一覧 (主要動 5 波)

< CASE3 STEP1 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	飽和度 Sr (%)	応答加速度				備考
					最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-	-484	434	1.11	1.29	
	液状化層 (D=92.0%)	3.0	A1-7	88.6	-375	411	0.86	1.22	
		6.0	A1-6	89.8	-400	421	0.92	1.25	
		9.0	A1-5	94.6	-458	384	1.05	1.14	
		12.0	A1-4	99.0	-464	4213	1.06	12.54	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	99.8	-437	404	1.00	1.20	
	非液化化層	17.5	A1-2	-	-446	415	1.02	1.24	
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-	-403	381	0.92	1.13	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-	-428	394	0.98	1.17	
	液状化層	3.0	A2-7	88.6	-449	426	1.03	1.27	
		6.0	A2-6	89.8	-461	524	1.06	1.56	
		9.0	A2-5	94.6	-573	805	1.31	2.40	
		12.0	A2-4	99.0	-540	443	1.24	1.32	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	99.8	-426	376	0.98	1.12	
	非液化化層	17.5	A2-2	-	-417	359	0.96	1.07	
	土層底面	20.0	A2-1	-	-436	336	1.00	1.00	入力加速度

< CASE3 STEP2 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	飽和度 Sr (%)	応答加速度				備考
					最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-	-502	518	0.99	1.15	
	液状化層 (D=92.0%)	3.0	A1-7	88.6	-425	702	0.84	1.56	
		6.0	A1-6	89.8	-529	939	1.05	2.09	
		9.0	A1-5	94.6	-862	820	1.70	1.83	
		12.0	A1-4	99.0	-450	4148	0.89	9.24	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	99.8	-520	551	1.03	1.23	
	非液化化層	17.5	A1-2	-	-514	544	1.02	1.21	
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-	-407	361	0.80	0.80	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-	-446	361	0.88	0.80	
	液状化層	3.0	A2-7	88.6	-443	418	0.88	0.93	
		6.0	A2-6	89.8	-1169	1081	2.31	2.41	
		9.0	A2-5	94.6	-1151	1422	2.27	3.17	
		12.0	A2-4	99.0	-695	862	1.37	1.92	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	99.8	-448	812	0.89	1.81	
	非液化化層	17.5	A2-2	-	-453	550	0.90	1.22	
	土層底面	20.0	A2-1	-	-506	449	1.00	1.00	入力加速度

表 3.3-6(e) 最小加速度および最大加速度一覧 (主要動 5 波)

< CASE3 STEP3 >

設置場所	層区分	設置深度 (m)	加速度計	飽和度 Sr (%)	応答加速度				備考
					最小加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	最小加速度 応答倍率	最大加速度 応答倍率	
水平地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A1-8	-	-445	430	0.91	1.03	
	液化化層 (D=92.0%)	3.0	A1-7	81.0	-437	455	0.89	1.09	
		6.0	A1-6	82.3	-465	494	0.95	1.19	
		9.0	A1-5	85.7	-621	496	1.27	1.19	
		12.0	A1-4	88.9	-559	4116	1.14	9.89	
	非液化化層上面	15.0	A1-3	90.0	-525	499	1.07	1.20	
	非液化化層	17.5	A1-2	-	-493	507	1.01	1.22	
模型	模型上面	-1.0	A2-9	-	-442	449	0.90	1.08	
模型直下 地盤	表層 (非液化化層)	1.0	A2-8	-	-435	439	0.89	1.06	
	液化化層	3.0	A2-7	81.0	-459	464	0.94	1.12	
		6.0	A2-6	82.3	-481	461	0.98	1.11	
		9.0	A2-5	85.7	-630	531	1.29	1.28	
		12.0	A2-4	88.9	-595	494	1.22	1.19	
	非液化化層上面	15.0	A2-3	90.0	-512	472	1.05	1.13	
	非液化化層	17.5	A2-2	-	-470	454	0.96	1.09	
	土層底面	20.0	A2-1	-	-489	416	1.00	1.00	入力加速度

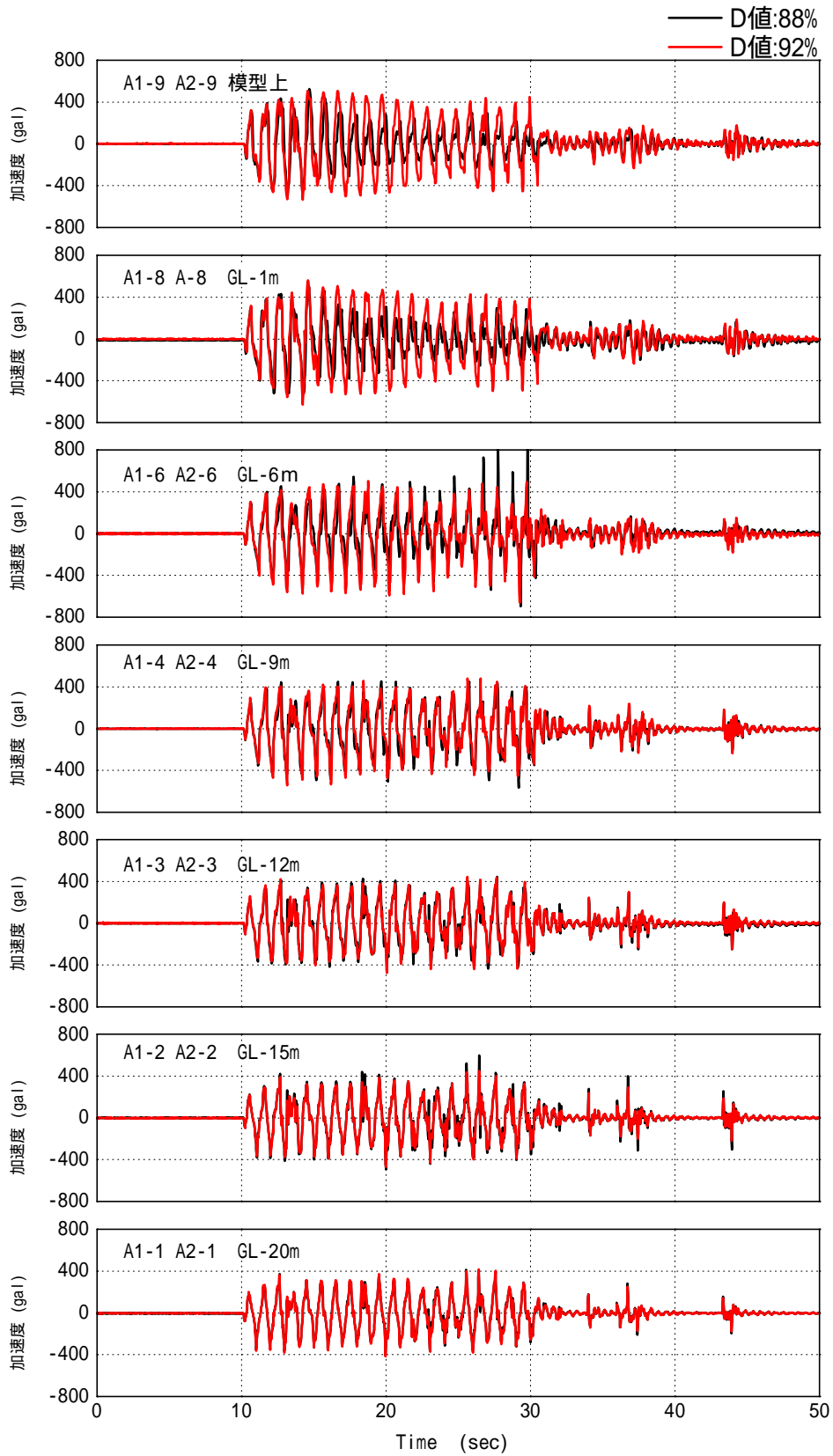


図 3.3-10(a) 加速度の時刻歴波形(CASE0-1 と CASE0-2 の比較)STEP1

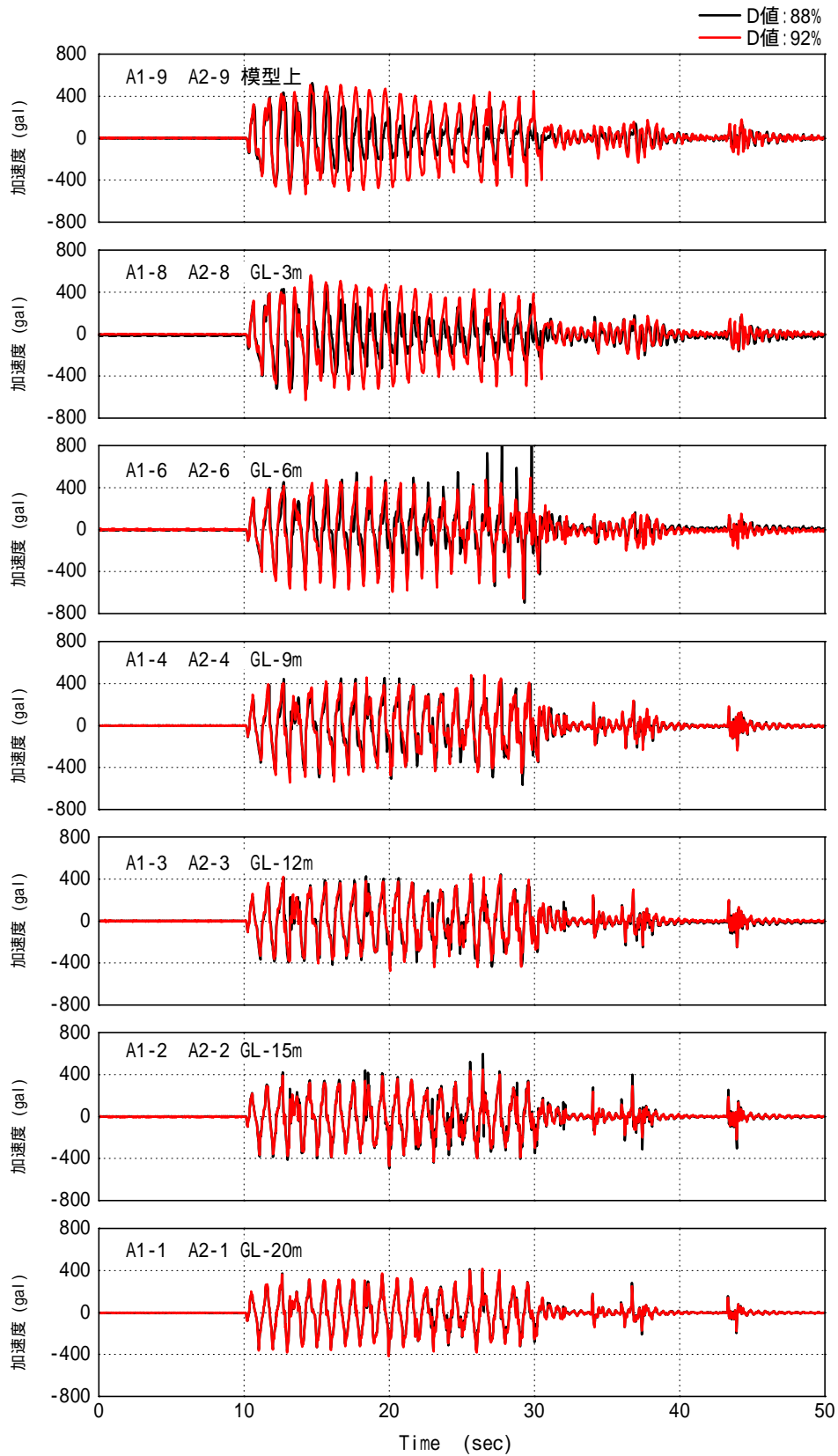


図 3.3-10(a) 加速度の時刻歴波形(CASE0-1 と CASE0-2 の比較)STEP1

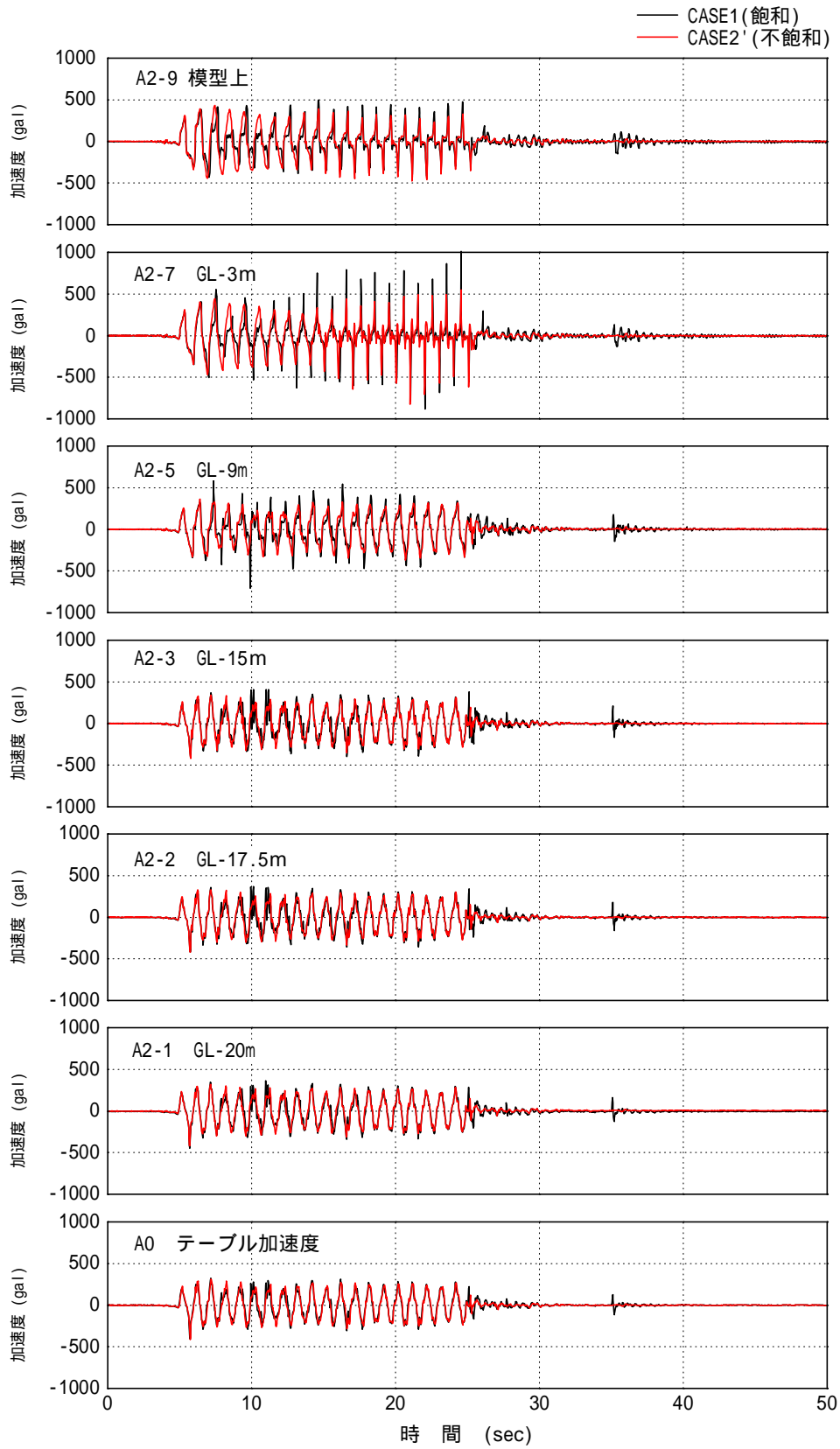


図 3.3-11(a) 加速度の時刻歴波形(CASE1 と CASE2' の比較)STEP1

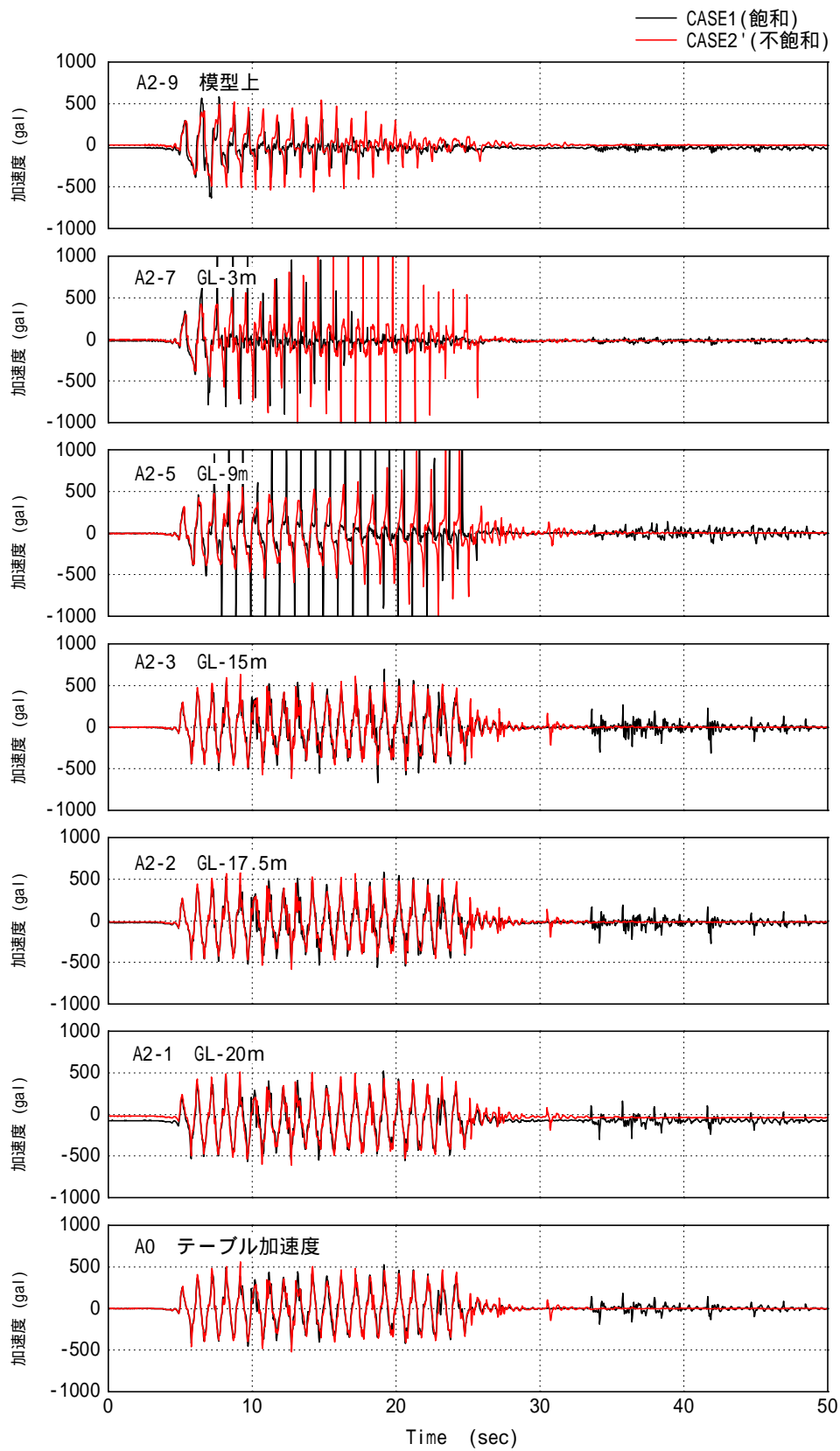


図 3.3-11(b) 加速度の時刻歴波形(CASE1 と CASE2' の比較)STEP2

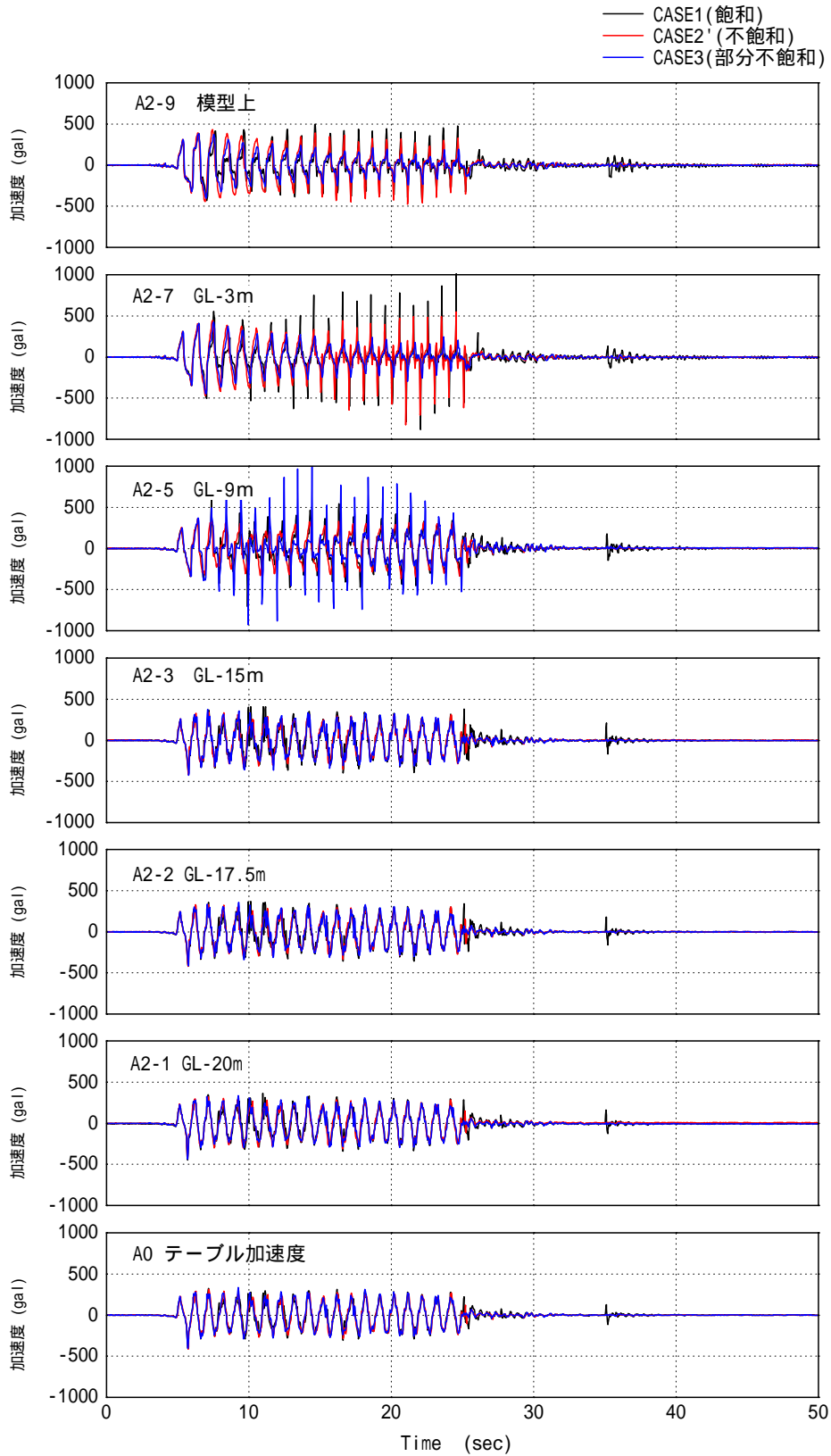


図 3.3-12(a) 加速度時刻歴波形(CASE1、CASE2 および CASE3 の比較)STEP1



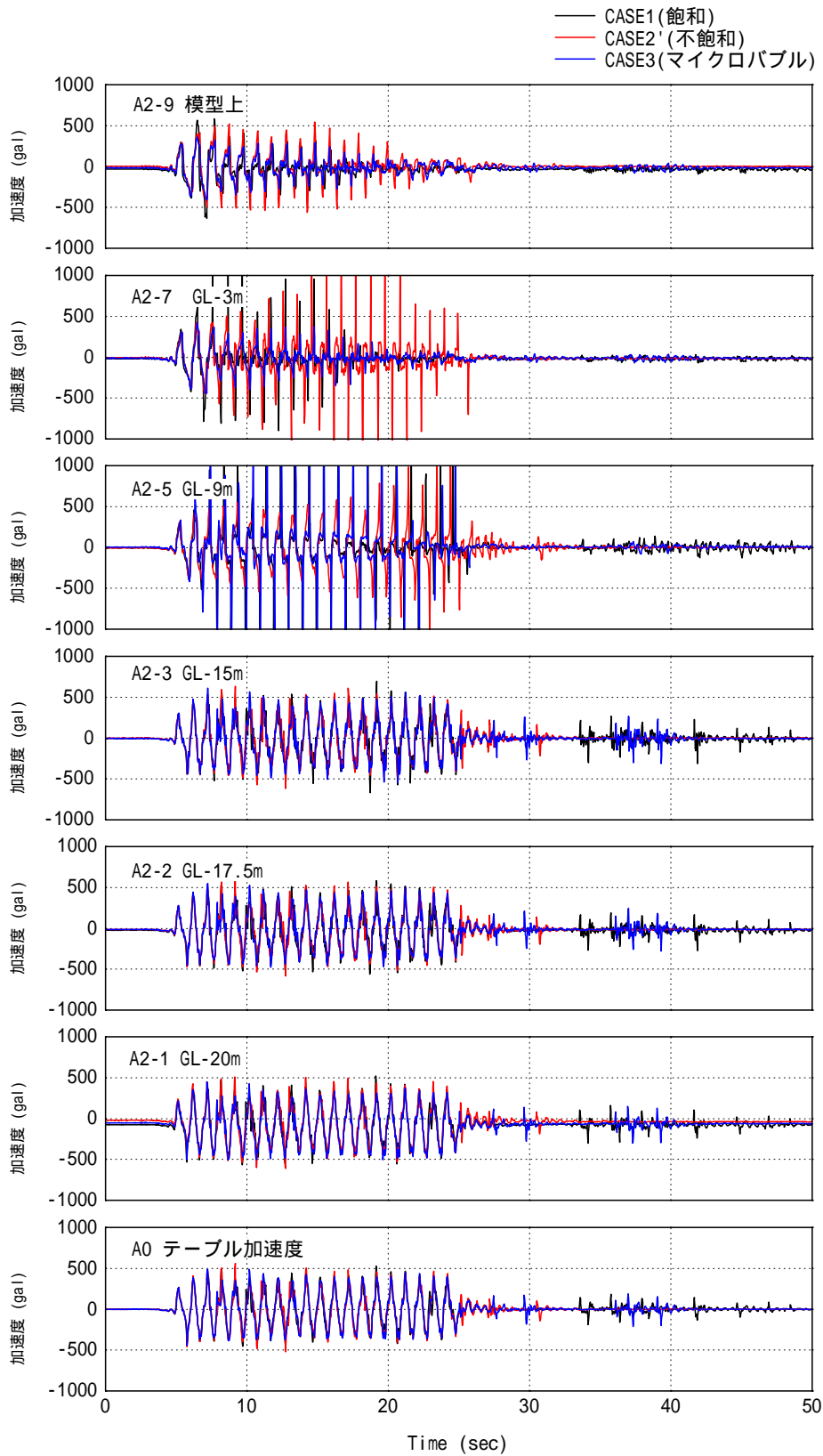


図 3.3-12(b) 加速度時刻歴波形(CASE1、CASE2 および CASE3 の比較)STEP2

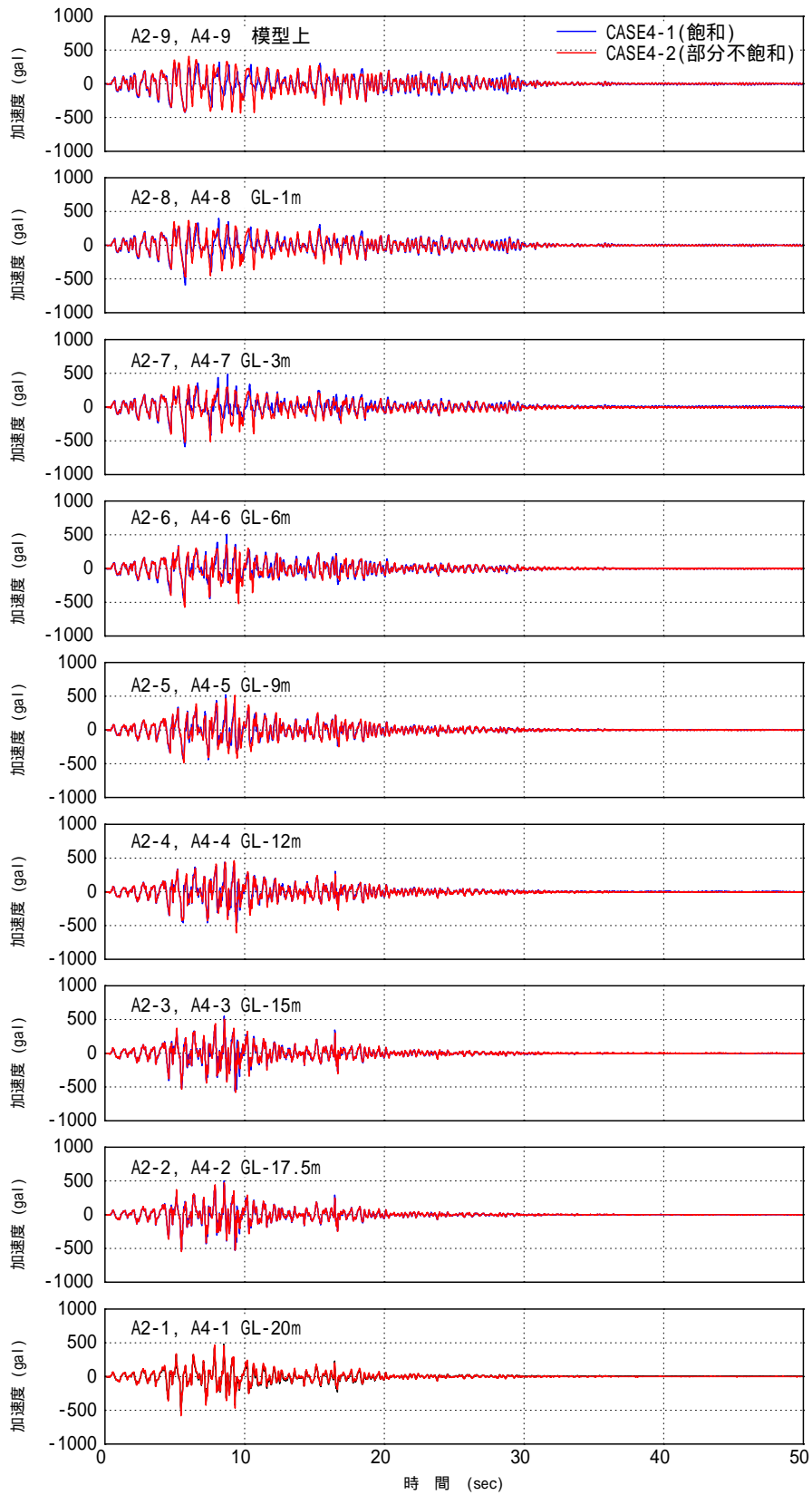


図 3.3-13(a) 加速度の時刻歴波形(CASE4)STEP1(飽和と部分不飽和の比較)

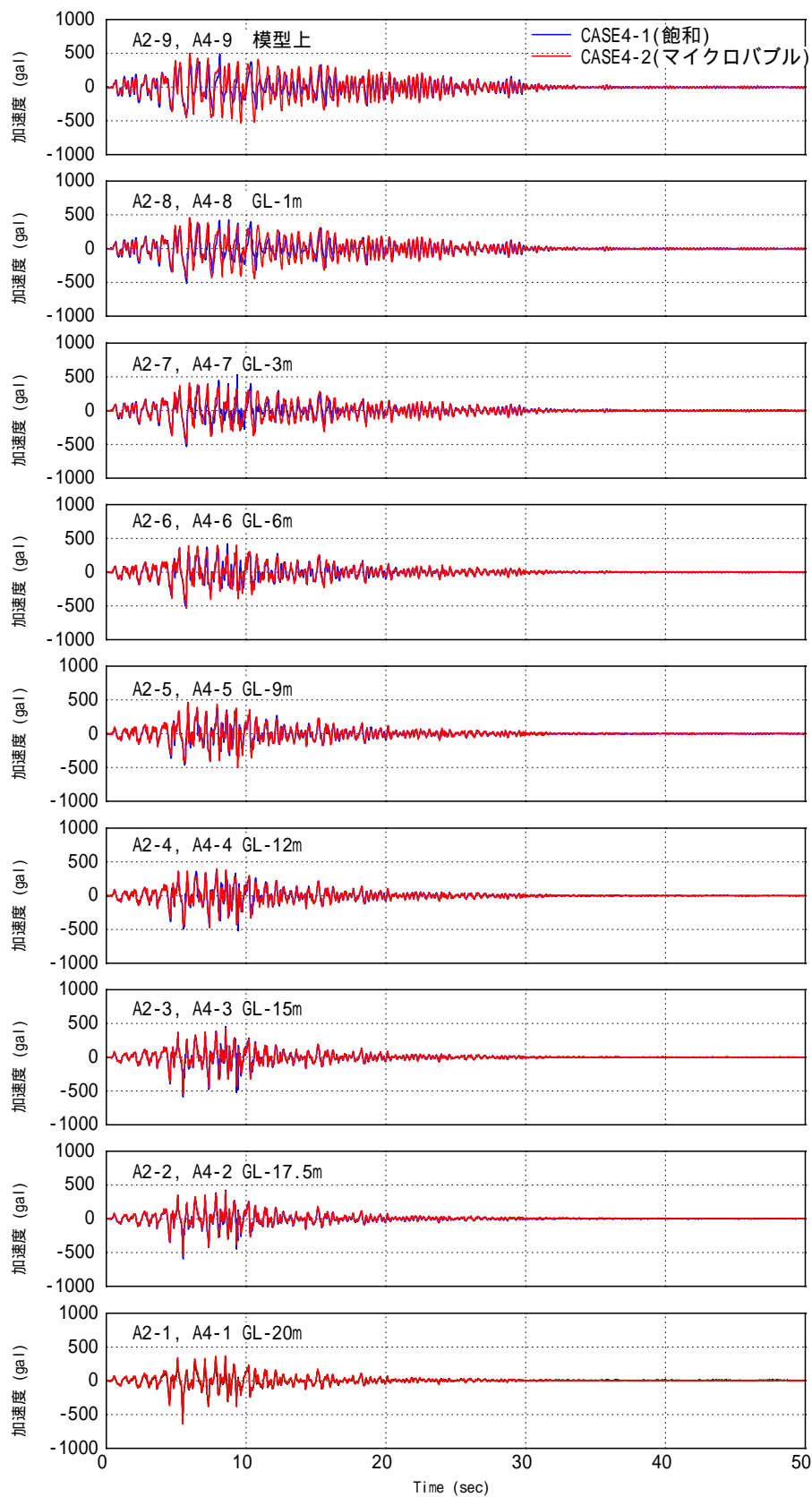


図 3.3-13(b) 加速度の時刻歴波形(CASE4)STEP2(飽和とマイクロバブルの比較)

### 3.3-4 地盤のS波速度

地盤のS波速度測定は、加振前に遠心重力場において微小レベルのパルス波を入力し、走時曲線の測定加速度波形の立ち上がりやピークの時間差を読み取ることで求めた。

水平地盤と盛土における応答加速度の走時曲線の一例(CASE1)を図3.3-14(a)および図3.3-14(b)に示す。これらの図では、パルス波の立ち上がりやピーク部分を明確にするため、時間軸や振幅を同じ割合で拡大している。立ち上がりが読み取りにくい波形も見受けられる。各構成層のおおよそのS波速度を、表3.3-7に示す。同表には参考のため道路橋示方書によるN値も合わせて示した。

表3.3-7 地盤のS波速度

試験ケース	地盤のS波速度 (m/sec.)		支持層 (7号珪砂)	液状化層の道路橋示方書による推定N値	備考
	液状化層 (江戸崎砂)				
	水平地盤	模型直下地盤			
0-1	-	190	250	13	試加振
0-2	-	190	260	13	
1	210	170	210 ~ 230	13	
2	200	200	240	16	
2'	200	210	250 ~ 260	17	
3	200	200	220 ~ 240	16	
4-1	200	190	250	14	
4-2	180	180	240 ~ 250	11	
4-1 (STEP2)	190	220	240	17	
4-2 (STEP2)	190	190	220 ~ 240	13	

< 道路橋示方書によるS波速度とN値の関係式 >

砂質土  $V_s = 80 \cdot N^{1/3}$  (1 N 50)

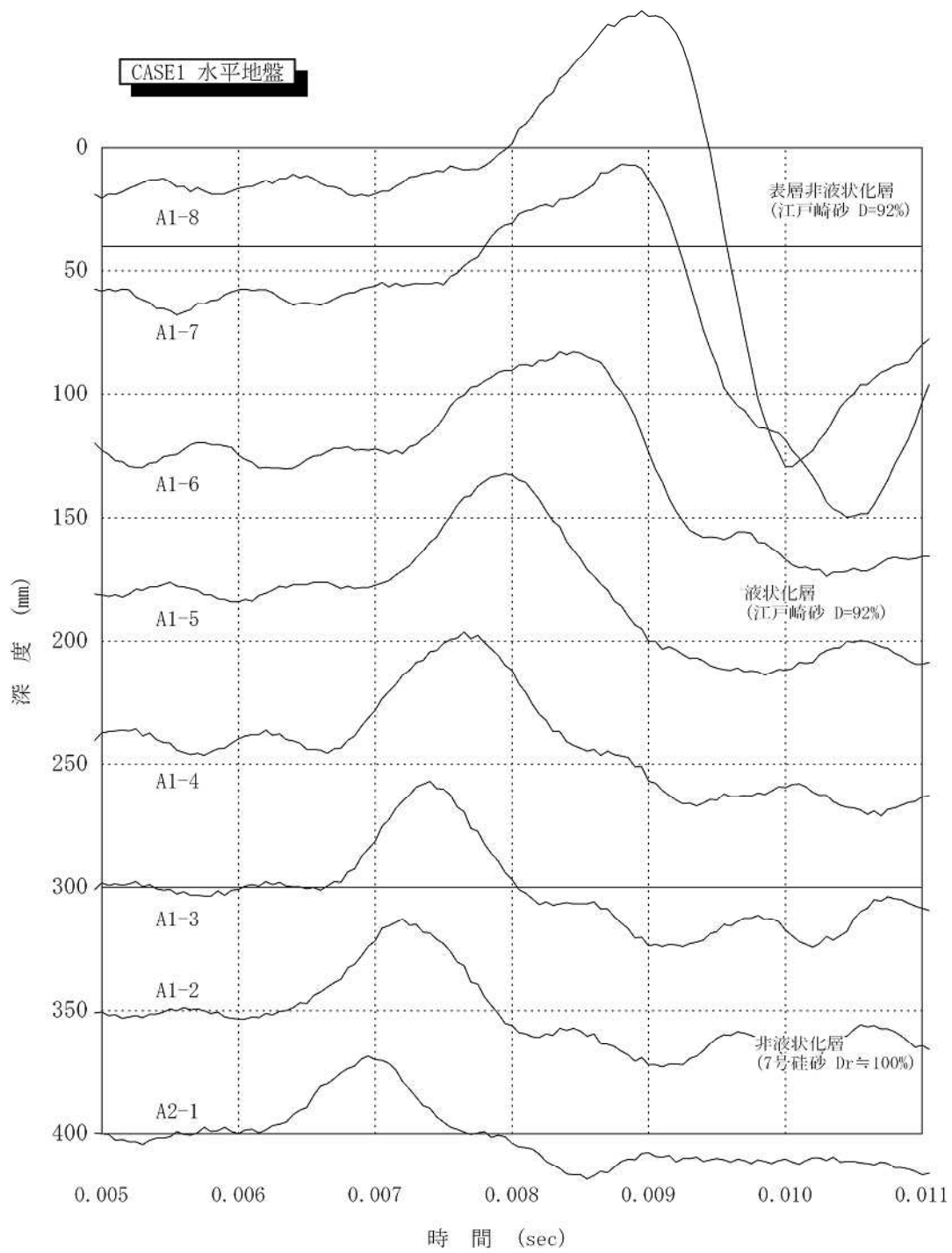


図 3.3-14(a) 地盤の S 波速度測定結果 (CASE1 水平地盤)

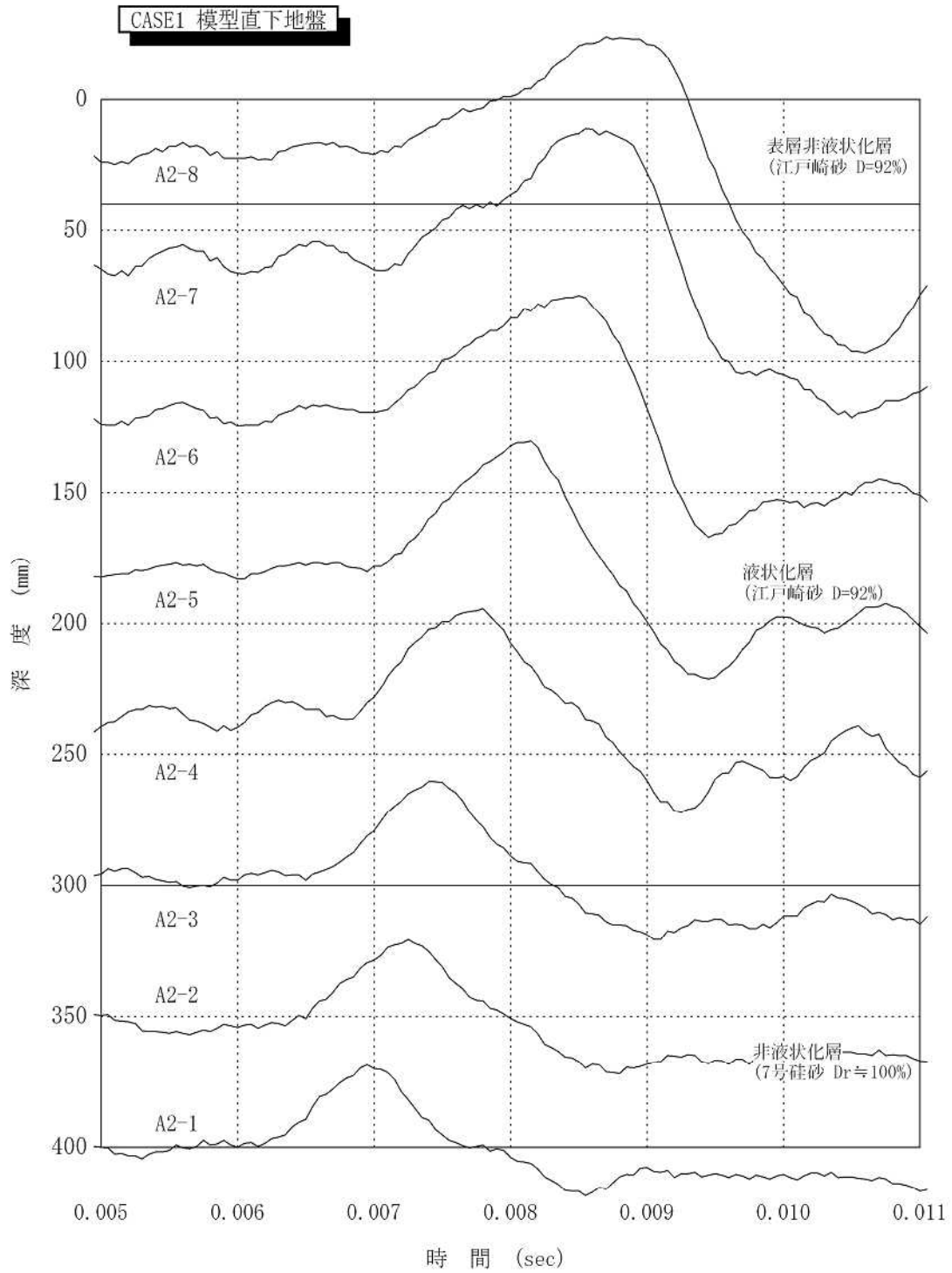


図 3.3-14(b) 地盤の S 波速度測定結果 (CASE1 模型直下地盤)

### 3.4 . 室内土質試験結果

#### 3.4.1 物理及び安定化試験

地盤材料である7号硅砂に対し、物理および力学的性質を把握するため物理試験および安定化試験を実施した。図3.4-1の粒径加積曲線に示す。物理特性及び安定化特性を表3.4-1に示す。

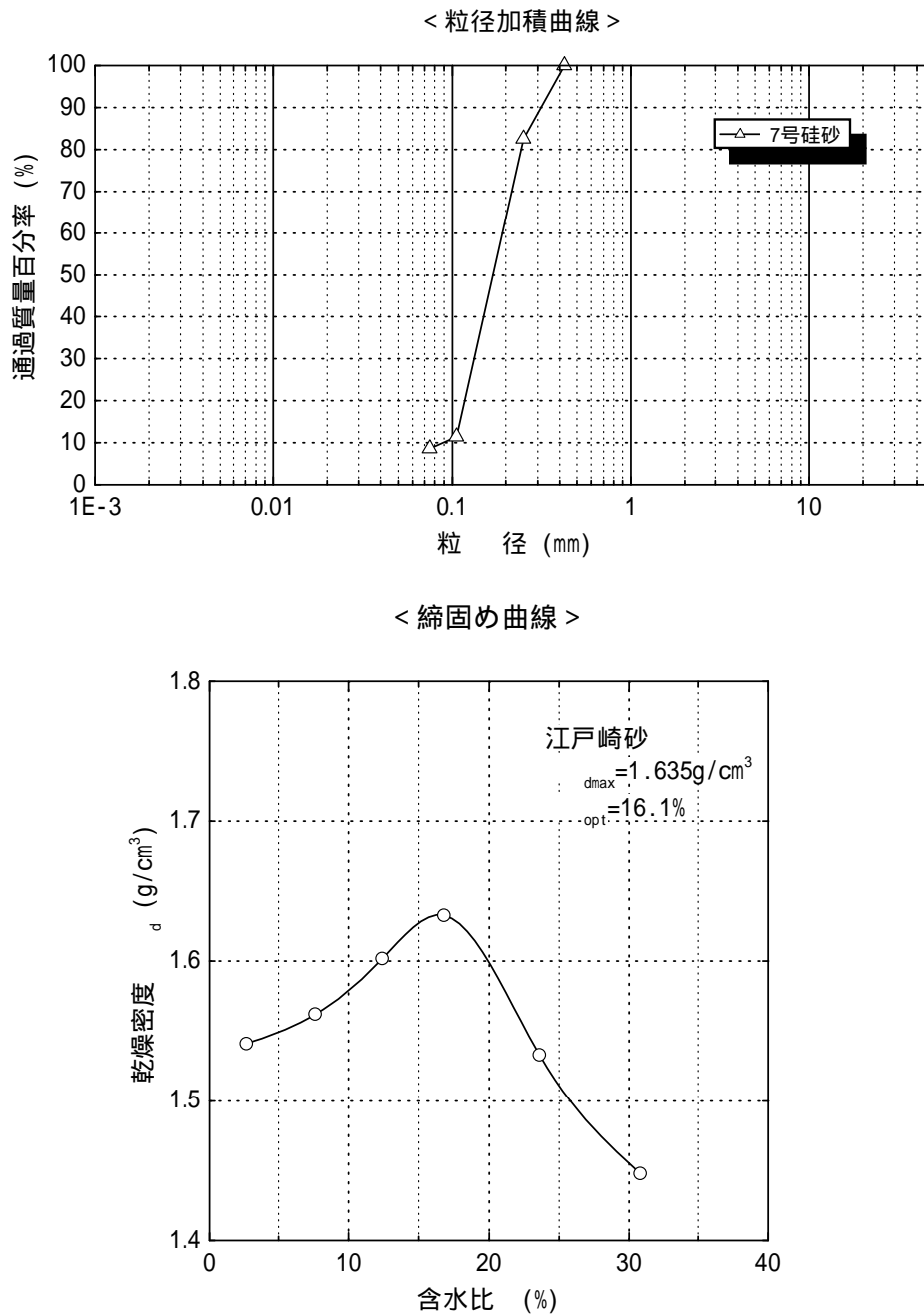


図 3.4-1 地盤材料の粒度特性

表 3.4-1 地盤材料の物理・安定化特性

項目		地盤材料	液状化層 (江戸崎砂)
物理	粒度	礫分含有率 (%)	0.0
		砂分含有率 (%)	88.3
		シルト分含有率 (%)	7.4
		粘土分含有率 (%)	4.8
		均等係数 $U_c$	4.88
		平均粒径 $D_{50}$ (mm)	0.148
	密度	最大乾燥密度 $d_{max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	-
最小乾燥密度 $d_{min}$ (g/cm <sup>3</sup> )		-	
安定化	締め	最大乾燥密度 $d_{max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.635
		最適含水比 $w_{opt}$ (%)	16.1



### 3.4.2 せん断試験

#### (1) 圧密非排水(CUB)三軸圧縮試験

液状化層の材料である江戸崎砂に対し、土の圧密非排水(CUB)三軸圧縮試験を実施した。前述したように試験は締固め度  $D=92\%$  で、飽和及び不飽和供試体を行った。試験結果を表 3.4-2 および表 3.4-3 に強度定数と合わせて示す。応力 - ひずみ曲線やモール応力円は巻末の資料集に示す。

#### (2) 繰返し非排水三軸圧縮試験（液状化試験）

液状化試験について、液状化層の材料である江戸崎砂を用いて飽和及び不飽和条件で実施した。液状化試験結果として、両振幅  $DA=5\%$  に対する繰返し回数 - 繰返し応力振幅比関係図を飽和と不飽和で重ね書きをしたものを図 3.4-2 に、試験結果の一覧表を表 3.4-4 ~ 表 3.4-6 に示す。

#### (3) 圧縮・膨潤試験

表 3.4-7 に圧縮・膨潤試験結果を示す。圧縮・膨潤試験は、予備圧力  $P_0=20\text{kN/m}^2$  で飽和度確認後、 $P_1=95\text{kN/m}^2$  まで圧密圧力を加え圧縮指数  $C_c$  を測定する。次に  $P_0=20\text{kN/m}^2$  まで圧密圧力を戻し膨潤指数  $C_s$  を求める方法で行った。圧縮・膨潤指数は、間隙比  $e$  - 圧密圧力  $\log p$  関係の傾きである  $e / \log(P_1/P_0)$  から求めた。圧縮係数を算出する為の間隙比  $e$ -圧密圧力  $\log p$  関係を図 3.4-3 に、膨潤指数を算出する為の間隙比  $e$ -圧密圧力  $\log p$  関係を図 3.4-4 に示す。

表 3.4-2 圧密非排水(CUB)三軸圧縮試験結果 (飽和)

試料		江戸崎砂			
締固め度	D値 %	92.0			
飽和度	$S_r$ %	100.0			
土粒子の密度	$\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.731			
最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.635			
最適含水比	$w_{opt}$ %	16.1			
供試体 No.		1	2	3	
圧密応力	$\sigma_c$ kN/m <sup>2</sup>	50.0	100.0	200.0	
背 圧	kN/m <sup>2</sup>	65.0	65.0	65.0	
初期状態	湿潤密度	$\rho_{ti}$ g/cm <sup>3</sup>	1.754	1.754	1.756
	乾燥密度	$\rho_{di}$ g/cm <sup>3</sup>	1.515	1.513	1.507
	間隙比	$e_i$	0.803	0.805	0.812
	含水比	$w_i$ %	15.8	15.9	16.5
	飽和度	$S_{ri}$ %	53.7	53.9	55.5
	締固め度	$D_{ri}$ %	92.7	92.5	92.2
圧密後	乾燥密度	$\rho_{dc}$ g/cm <sup>3</sup>	1.523	1.527	1.534
	間隙比	$e_c$	0.793	0.788	0.780
	飽和度 <sup>注1</sup>	$S_{rc1}$ %	100.0	100.0	100.0
	締固め度	$D_c$ %	93.1	93.3	93.8
B 値		0.96	0.97	0.95	
変形係数		$E_{50}$ <sup>注2</sup> MN/m <sup>2</sup>	12.5	24.8	35.6
主応力差最大時	圧縮強さ	$(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$ kN/m <sup>2</sup>	219.1	224.2	303.3
	軸ひずみ	$\epsilon_f$ %	12.42	10.80	10.44
	間隙水圧	$\Delta u_f$ kN/m <sup>2</sup>	-32.6	17.7	87.1
強度定数	全応力	粘着力 $c$ kN/m <sup>2</sup>	70.3		
		せん断抵抗角 $\phi^\circ$	13.4		
	有効応力	粘着力 $c'$ kN/m <sup>2</sup>	0.0		
		せん断抵抗角 $\phi'^\circ$	35.0		

注1: ボイルの法則より求めた飽和度

注2:  $E_{50} = (\sigma_a - \sigma_r)_{max} / 2 / \epsilon_{50} * 0.1$ ,  $\epsilon_{50}$ :  $(\sigma_a - \sigma_r)_{max} / 2$ 時の軸ひずみ

表 3.4-3 圧密非排水(CUB)三軸圧縮試験結果 (不飽和)

試料		江戸崎砂			
締固め度	D値 %	92.0			
飽和度	$S_r$ %	90.0			
土粒子の密度	$\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.731			
最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.635			
最適含水比	$w_{opt}$ %	16.1			
供試体 No.		1	2	3	
圧密応力	$\sigma'_c$ kN/m <sup>2</sup>	50.0	100.0	200.0	
背 圧	kN/m <sup>2</sup>	65.0	65.0	65.0	
初期状態	湿潤密度	$\rho_{ti}$ g/cm <sup>3</sup>	1.752	1.749	1.747
	乾燥密度	$\rho_{di}$ g/cm <sup>3</sup>	1.511	1.510	1.504
	間隙比	$e_i$	0.807	0.809	0.816
	含水比	$w_i$ %	16.0	15.8	16.2
	飽和度	$S_{ri}$ %	54.1	53.3	54.2
	締固め度	$D_{ri}$ %	92.4	92.4	90.0
圧密後	乾燥密度	$\rho_{dc}$ g/cm <sup>3</sup>	1.519	1.527	1.528
	間隙比	$e_c$	0.798	0.788	0.787
	含水比 <sup>注1</sup>	$w_c$ %	25.8	26.7	26.4
	飽和度 <sup>注2</sup>	$S_{rc1}$ %	89.6	89.5	90.4
	飽和度 <sup>注3</sup>	$S_{rc2}$ %	88.3	90.1	91.6
	締固め度	$D_c$ %	92.9	93.4	93.5
B 値		0.37	0.38	0.36	
変形係数	$E_{50}$ <sup>注4</sup> MN/m <sup>2</sup>	14.5	27.1	45.7	
主応力差最大時	圧縮強さ	$(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$ kN/m <sup>2</sup>	208.8	284.1	394.3
	軸ひずみ	$\epsilon_f$ %	14.00	14.72	8.88
	間隙水圧	$u_f$ kN/m <sup>2</sup>	-24.0	-6.4	52.6
強度定数	全応力	粘着力	$c$ kN/m <sup>2</sup>	51.5	
		せん断抵抗角	$\phi$ °	22.3	
	有効応力	粘着力	$c'$ kN/m <sup>2</sup>	4.9	
		せん断抵抗角	$\phi'$ °	34.0	

注1: 試験後含水比

注2: ボイルの法則より求めた飽和度

注3: 試験後含水比より求めた飽和度

注4:  $E_{50} = (\sigma_a - \sigma_r)_{max} / 2 / \epsilon_{50} * 0.1$ ,  $\epsilon_{50}$ :  $(\sigma_a - \sigma_r)_{max} / 2$ 時の軸ひずみ

記号	飽和状態 (飽和度)	圧密圧力 (kPa)	背 圧 (kPa)
●	飽和 (Sr=100%)	95	65
○	不飽和 (Sr=90%)	95	65
△	不飽和 (Sr=90%)	55	25

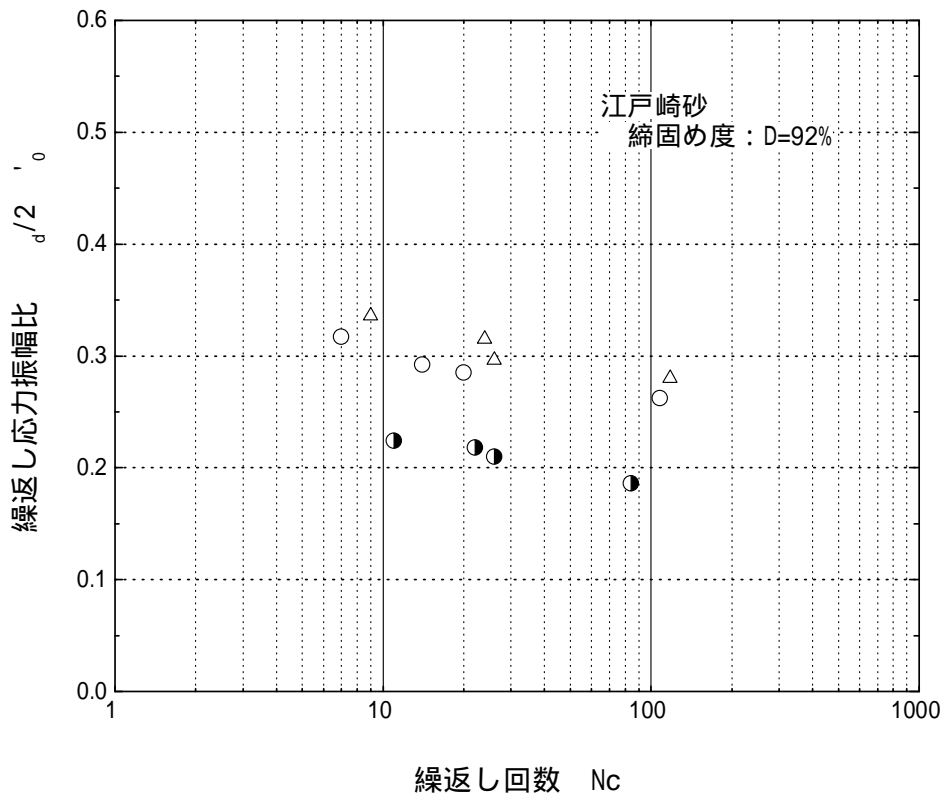


図 3.4-2 江戸崎砂の液状化特性 - 両振幅軸ひずみ DA=5% -

表 3.4-4 繰返し非排水三軸試験結果（飽和）

試料		江戸崎砂				
締固め度 D値 %		92				
供試体 No.		1	2	3	4	
土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>		2.731				
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>		1.635				
最適含水比 $w_{opt}$ %		16.1				
粒度特性	礫分 %	0.0				
	砂分 %	88.3				
	シルト分 %	7.4				
	粘土分 %	4.3				
圧密圧力 $\sigma_c'$ kN/m <sup>2</sup>		95				
背圧 kN/m <sup>2</sup>		65				
初期状態	湿潤密度 $\rho_{ti}$ g/cm <sup>3</sup>	1.731	1.736	1.737	1.739	
	乾燥密度 $\rho_{di}$ g/cm <sup>3</sup>	1.501	1.507	1.508	1.503	
	間隙比 $e_i$	0.819	0.812	0.811	0.817	
	含水比 $w_i$ %	15.4	15.2	15.2	15.7	
	飽和度 $S_{ri}$ %	51.4	51.1	51.2	52.5	
	締固め度 $D_{ri}$ %	91.8	92.2	92.2	91.9	
圧密後	乾燥密度 $\rho_{dc}$ g/cm <sup>3</sup>	1.515	1.520	1.520	1.517	
	間隙比 $e_c$	0.803	0.797	0.797	0.800	
	飽和度 <sup>注</sup> $S_{rc1}$ %	100.0	99.1	100.0	99.5	
	締固め度 $D_{rc}$ %	92.6	93.0	93.0	92.8	
間隙水圧係数 B 値		0.95	0.96	0.96	0.95	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma_0'$		0.224	0.186	0.210	0.218	
繰返し回数 N	両振幅軸ひずみ	DA = 1.0%	8	79	22	17
		DA = 2.0%	9.5	82	24	19
		DA = 5.0%	11	84	26	22
		DA = 10.0%	12	86	27	23
	過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$	11	83	25	21	
液状化強度比 RL (DA=5.0%, N=20)		0.22				

注：ボイルの法則により求めた飽和度

表 3.4-5 繰返し非排水三軸試験結果（不飽和）

試料		江戸崎砂				
締固め度 D 値 %		92				
供試体 No.		1	2	3	4	
土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>		2.731				
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>		1.635				
最適含水比 $w_{opt}$ %		16.1				
粒度特性	礫分 %	0.0				
	砂分 %	88.3				
	シルト分 %	7.4				
	粘土分 %	4.3				
圧密圧力 $\sigma_c'$ kN/m <sup>2</sup>		95				
背圧 kN/m <sup>2</sup>		65				
初期状態	湿潤密度 $\rho_{ti}$ g/cm <sup>3</sup>	1.734	1.733	1.734	1.516	
	乾燥密度 $\rho_{di}$ g/cm <sup>3</sup>	1.499	1.499	1.500	1.502	
	間隙比 $e_i$	0.822	0.822	0.821	0.818	
	含水比 $w_i$ %	15.7	15.6	15.6	15.5	
	飽和度 $S_{ri}$ %	52.2	51.8	51.9	51.7	
	締固め度 $D_{ri}$ %	91.7	91.7	91.7	91.9	
圧密後	乾燥密度 $\rho_{dc}$ g/cm <sup>3</sup>	1.513	1.514	1.513	1.516	
	間隙比 $e_c$	0.805	0.804	0.805	0.801	
	含水比 <sup>注1</sup> $w_c$ %	26.9	26.8	27.2	26.8	
	飽和度 <sup>注2</sup> $S_{rc1}$ %	90.9	90.7	90.4	90.9	
	飽和度 <sup>注3</sup> $S_{rc2}$ %	91.3	91.0	92.2	91.4	
	締固め度 $D_{rc}$ %	92.5	92.6	92.5	92.7	
間隙水圧係数 B 値		0.35	0.38	0.37	0.34	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2 \sigma_0'$		0.262	0.317	0.292	0.285	
繰返し回数 N	両振幅軸ひずみ	DA = 1.0%	100	0.8	8	14
		DA = 2.0%	105	5	11	18
		DA = 5.0%	108	7	14	20
		DA = 10.0%	110	8	16	22
	過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$	105	8	15	21	
液状化強度比 RL (DA=5.0%, N=20)		0.29				

注1：液状化試験後含水比

注2：試験後含水比より求めた飽和度

注3：ボイルの法則により求めた飽和度

表 3.4-6 繰返し非排水三軸試験結果（飽和）

試料		江戸崎砂				
締固め度 D 値 %		92				
供試体 No.		1	2	3	4	
土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>		2.731				
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>		1.635				
最適含水比 $w_{opt}$ %		16.1				
粒度特性	礫分 %	0.0				
	砂分 %	88.3				
	シルト分 %	7.4				
	粘土分 %	4.3				
圧密圧力 $\sigma_c'$ kN/m <sup>2</sup>		55				
背圧 kN/m <sup>2</sup>		25				
初期状態	湿潤密度 $\rho_{wi}$ g/cm <sup>3</sup>	1.731	1.741	1.735	1.732	
	乾燥密度 $\rho_{di}$ g/cm <sup>3</sup>	1.501	1.502	1.497	1.494	
	間隙比 $e_i$	0.819	0.818	0.824	0.828	
	含水比 $w_i$ %	15.3	16.0	15.9	15.9	
	飽和度 $S_{ri}$ %	51.0	53.4	52.7	52.4	
	締固め度 $D_{ri}$ %	91.8	91.8	91.6	91.4	
圧密後	乾燥密度 $\rho_{dc}$ g/cm <sup>3</sup>	1.510	1.511	1.506	1.503	
	間隙比 $e_c$	0.809	0.807	0.813	0.817	
	含水比 <sup>注1</sup> $w_c$ %	26.8	27.5	27.1	27.0	
	飽和度 <sup>注2</sup> $S_{rc1}$ %	90.2	89.4	89.3	90.9	
	飽和度 <sup>注3</sup> $S_{rc2}$ %	90.5	93.1	91.0	90.3	
	締固め度 $D_{rc}$ %	92.3	92.4	92.1	91.9	
間隙水圧係数 B 値		0.32	0.31	0.32	0.31	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma_0'$		0.296	0.315	0.336	0.280	
繰返し回数 N	両振幅軸ひずみ	DA = 1.0%	19	7	0.9	110
		DA = 2.0%	23	11	6	115
		DA = 5.0%	26	14	9	118
		DA = 10.0%	27	16	10	119
	過剰間隙水圧比 95% $N_{95}$	27	15	10	119	
液状化強度比 RL (DA=5.0%, N=20)		0.3				

注1：液状化試験後含水比

注2：試験後含水比より求めた飽和度

注3：ボイルの法則により求めた飽和度

表 3.4-7 圧縮・膨潤試験結果

試料		江戸崎砂	
締固め度 D 値 %		92	
供試体		飽和	不飽和
土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>		2.731	
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>		1.635	
最適含水比 $w_{opt}$ %		16.1	
粒度特性	礫分 %	0.0	
	砂分 %	88.3	
	シルト分 %	7.4	
	粘土分 %	4.3	
背 圧 kN/m <sup>2</sup>		65	
初期状態	圧密圧力 $\sigma_c'$ kN/m <sup>2</sup>	20	20
	湿潤密度 $\rho_{ti}$ g/cm <sup>3</sup>	1.741	1.730
	乾燥密度 $\rho_{di}$ g/cm <sup>3</sup>	1.510	1.496
	間隙比 $e_i$	0.809	0.826
	含水比 $w_i$ %	15.4	15.6
	飽和度 $S_{ri}$ %	52.0	51.6
	締固め度 $D_{ri}$ %	92.3	91.5
圧密後	圧密圧力 $\sigma_c'$ kN/m <sup>2</sup>	95	95
	乾燥密度 $\rho_{dc}$ g/cm <sup>3</sup>	1.523	1.512
	間隙比 $e_c$	0.793	0.806
	含水比 <sup>注1</sup> $w_c$ %	-	26.9
	飽和度 <sup>注2</sup> $S_{rc1}$ %	100.0	91.4
	飽和度 <sup>注3</sup> $S_{rc2}$ %	-	91.1
	締固め度 $D_{rc}$ %	93.1	92.5
	圧縮指数 $C_c$	0.024	0.030
膨張後	圧密圧力 $\sigma_c'$ kN/m <sup>2</sup>	20	20
	乾燥密度 $\rho_{dc}$ g/cm <sup>3</sup>	1.516	1.502
	間隙比 $e_c$	0.801	0.818
	締固め度 $D_{rc}$ %	92.7	91.9
	膨張指数 $C_s$	0.012	0.018
間隙水圧係数 B 値		0.97	0.37

注1：液状化試験後含水比

注2：試験後含水比より求めた飽和度

注3：ボイルの法則により求めた飽和度



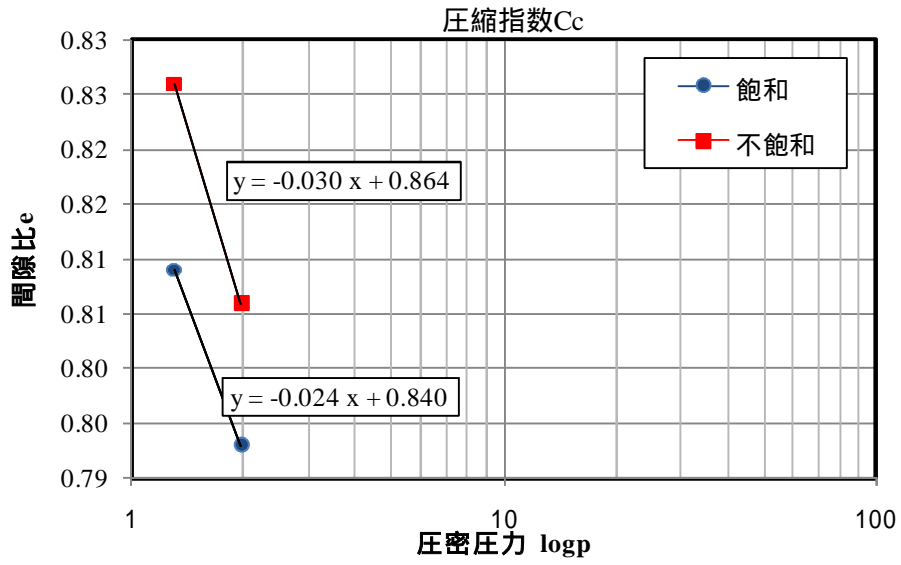


圖 3.4-3 間隙比  $e$ -壓密壓力  $\log p$  關係(壓縮指數  $C_c$ )

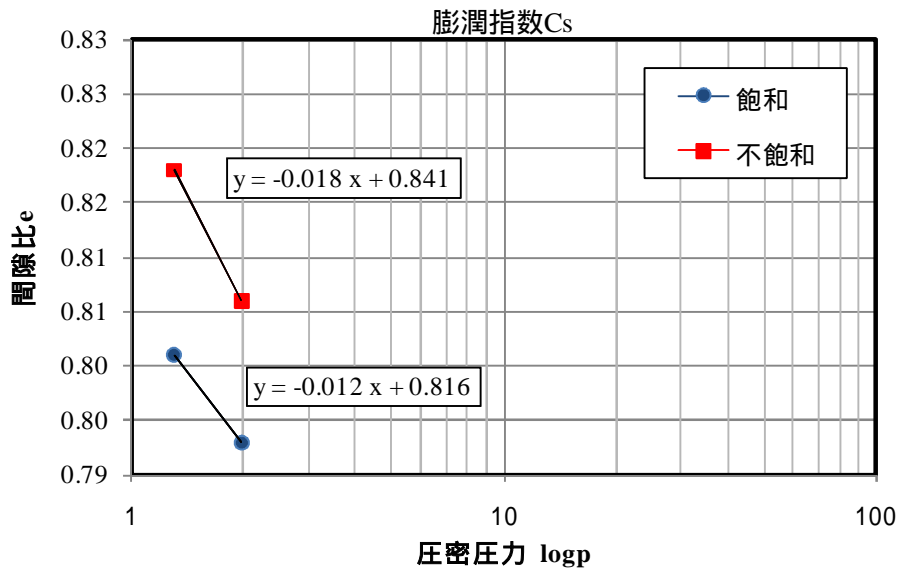


圖 3.4-4 間隙比  $e$ -壓密壓力  $\log p$  關係(膨潤指數  $C_s$ )

#### 4.まとめ

##### 沈下量による実験結果

住宅模型の沈下量は、CASE1(飽和地盤)に比べCASE2(不飽和地盤)の方が小さくなる傾向であった。沈下の大半は加振中に起きており、即時沈下の的に起きたと考えられる。今回の実験では、加振中における沈下のほとんどが即時沈下の的に起きており比較は難しいものの、CASE1(飽和地盤)とCASE2(不飽和地盤)に比べCASE3(部分不飽和地盤)の沈下量は1割ほど低減された。

また、CASE1(飽和地盤)およびCASE3(部分不飽和地盤)の沈下量時刻歴波形に着目すると、CASE2(不飽和地盤)に比べ、加振時の動きが小さく、基礎の振動が少なかった。この理由として、液状化が発生した事により、振動が上層まで伝わらなかったのではないかと考えられる。

##### 過剰間隙水圧による実験結果

###### 【STEP1 : 270gal】

CASE1(飽和地盤)においてGL-9m付近から表層にかけて最大過剰間隙水圧が有効上載圧  $z$  と等しくなり液状化が発生したが、CASE2(不飽和地盤)およびCASE3(部分不飽和地盤)では全層で  $z$  に達しなかった。

###### 【STEP2 : 400gal】

CASE1(飽和地盤)においてGL-15mから表層までの液状化層全層に渡り最大過剰間隙水圧が  $z$  に達して液状化が発生した。CASE2(不飽和地盤)においては、土槽下部層では水圧は小さく液状化を抑止しているもののGL-7m付近から表層にかけ水圧が  $z$  に達しており液状化に至ったものと考えられる。一方、CASE3(部分不飽和地盤)においては、土槽下部で水圧が  $z$  に達しているもののGL-7m以浅の不飽和層では有効上載圧まで達しておらず基礎底盤部の液状化を抑止したのものと考えられる。

###### 【CASE4 : 観測波 : 神戸波】

CASE4-2 : STEP1 (部分不飽和地盤)はCASE4-1 : STEP1 (飽和地盤)に比べ、GL-7m付近から表層にかけて水圧の上昇が小さくなった。

CASE4-2 : STEP2 (マイクロバブル混入地盤)は、CASE4-2:STEP1 (飽和地盤)に比べ、全層に渡り水圧の上昇が小さくなった。

##### 応答加速度による実験結果

CASE1(飽和地盤),CASE3(部分不飽和地盤)ともに加振後すぐに急激に上昇し液状化時に見られるスパイク状の波形が現れたが、CASE2(不飽和地盤)では加振後半では加速度増加が見られた。

地表面の基礎上の加速度は、加振直後では3ケース共に同様の挙動を示しているが、加振後半ではCASE3(部分不飽和地盤)の値はCASE1(飽和地盤)とCASE2(不飽和地盤)の

それよりも小さくなっている。これは土槽下部が液状化により軟化して土槽上部に振動が伝わらなくなった結果と考えられる。

#### 考察

- 1 . CASE0(試加振)の結果より、D 値が 88%の地盤に比べ D 値が 92%の地盤において、空気注入工法の効果の優位性が認められた。
- 2 . 空気注入工法は、D 値 92% ( N 値 16 程度 ) の砂質地盤において、地下水層の飽和度を 90%程度とすることにより、阪神大震災相当の地震動に対しても、液状化の発生を防ぐことが実験上確かめられた。
- 3 . 今回の実験により、部分不飽和地盤(上層部 GL-10m以浅 : 不飽和 90%、下層部 GL-10 m以深 : 飽和 100%)とすることで地上の建物に対する地震入力を低減させる「液状化免震」の可能性が示唆された。